



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SIMULACION PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE ESPERA EN LA AUTOPISTA DE PEAJE DE LA ESTACIÓN SULLANA - PIURA”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA INDUSTRIAL

Autora:

Rita del Carmen Estephany Diaz Guerrero

Asesor:

Mg. Fanny Emelina Piedra Cabanillas

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

A mi madre y mi hermana por estar
siempre conmigo apoyándome y
guiándome en cada paso y tropiezo que se
me presenta en la elaboración del presente.

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirme con el esfuerzo y sacrificio que hacen mis padres día a día para darme una buena educación y así poder cumplir mis sueños.

Así mismo agradecer a la docente Mg. Fanny Piedra Cabanillas por brindarme todos los alcances y motivación necesaria.

TABLA CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Objetivos	12
1.3.1. Objetivo general	12
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4. Hipótesis.....	13
1.4.1. Hipótesis general	13
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	14
2.1. Tipo de investigación.....	14
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	21
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	21
2.3.1. Técnicas de recolección de datos	21
2.3.2. Instrumentos de recolección de datos	21
2.3.3. Análisis de gráficos estadísticos	22
2.3.4. Programas	22
2.4. Procedimiento.....	22
2.5. Matriz de operacionalización	24
CAPÍTULO 3. RESULTADOS	25
3.1. Información de la empresa – Ámbito de acción – Contexto	25
3.1.1. Flujograma del proceso de atención en el peaje.....	27
3.2. Diagnostico actual.....	28
3.2.1. Modelamiento de la investigación	30
3.2.2. Variables del primer escenario.....	31
3.2.3. Análisis de indicadores variable independiente.....	37

3.2.4. Análisis de indicadores Variable Dependiente	39
3.2.5. Validación en hoja de cálculo.....	41
3.3. Propuesta de mejora	43
3.3.1. Variables del segundo escenario.....	43
3.3.2. Análisis de indicadores mejorados variable independiente	47
3.3.3. Análisis de indicadores mejorados Variable dependiente	49
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	53
4.1. Discusión.....	53
4.2. Conclusiones	54
REFERENCIAS	57
ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Técnicas para la recolección de datos.	21
Tabla 2 Instrumentos de recolección de datos.....	22
Tabla 3 Matriz de operacionalización de variables	24
Tabla 4 Datos según unidades móviles e interllegada.....	29
Tabla 5 Tipo de vehículo.....	33
Tabla 6 Porcentajes capacidad según cajas en las locaciones en la situación actual	37
Tabla 7 Porcentajes capacidad según rutas en las locaciones en la situación actual.....	37
Tabla 8 Porcentajes de utilización de entidades según los carros en la situación actual.....	38
Tabla 9 Frecuencia de llegada	39
Tabla 10 Tiempo promedio ocioso en la cajera de Piura - Sullana y Sullana – Piura.....	39
Tabla 11 Porcentajes de indicadores según los tiempos de los carros en la situación actual...	40
Tabla 12 Primer escenario en Promodel.....	41
Tabla 13 Cola en la vía Piura – Sullana y Sullana – Piura	42
Tabla 14 Porcentajes capacidad en las locaciones en la nueva situación.....	47
Tabla 15 Porcentajes capacidad en las locaciones en la nueva situación.....	48
Tabla 16 Porcentajes de utilización de entidades según los carros de ida en la nueva situación	49
Tabla 17 Porcentajes de utilización de entidades según los carros en la nueva situación.....	49
Tabla 18 Resumen de la propuesta en los dos escenarios	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Panel de información general del simulador ProModel	15
Figura 2 Grafico del panel de locaciones del simulador ProModel	15
Figura 3 Grafico del panel de locaciones utilizado en el simulador ProModel	16
Figura 4 Panel superior de locaciones del simulador ProModel	16
Figura 5 Panel de control de entidades del simulador ProModel	17
Figura 6 Panel de arribos del simulador ProModel	18
Figura 7 Panel de entrada simulador ProModel	18
Figura 8 Panel de salida simulador ProModel	18
Figura 9 Gráficas de fondo del simulador ProModel	19
Figura 10 Panel de atributos del simulador ProModel	19
Figura 11 Panel de variables del simulador ProModel	20
Figura 12 Panel de opciones de simulación de ProModel	20
Figura 13 Autopista del Sol Tramo Trujillo Sullana	25
Figura 14 Vista en Planta de la Estación de Sullana	26
Figura 15 Flujograma del proceso de atención del Peaje Sullana – Piura	27
Figura 16 Sistema actual del peaje	29
Figura 17 Propuestas de mejora según escenarios	30
Figura 18 Herramientas utilizadas en ProModel	31
Figura 19 Locaciones del sistema actual	31
Figura 20 Entidades del sistema actual	34
Figura 21 Arribos del sistema actual	34
Figura 22 Procesos del sistema actual	35
Figura 23 Atributos del sistema actual	36
Figura 24 Variables del sistema actual	36
Figura 25 Primer escenario en Promodel	40
Figura 26 Representación esquemática de un sistema de colas con tres servidores paralelos	42
Figura 27 Locaciones del nuevo Sistema	43
Figura 28 Entidades del nuevo sistema	44
Figura 29 Arribos del nuevo sistema	45
Figura 30 Proceso del nuevo sistema	45
Figura 31 Atributos del nuevo sistema	46
Figura 32 Variables del nuevo sistema	47
Figura 33 Segundo escenario en Promodel	50

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo simular el sistema de peaje Sullana - Piura para poder analizar los tiempos de espera de vehículos donde se realiza el cobro de peaje y así proponer una mejora que ayude a optimizar el flujo vehicular, ya que el tránsito vial ha ido aumentando considerablemente en los últimos años causando más demoras dentro de las ciudades y en el sector de la autopista de peaje. Este estudio es cuantitativo, no experimental, transversal, descriptivo, en el cual se utilizó como técnica la observación directa y una guía de observación como instrumento para la recolección de datos en un determinado periodo de tiempo con mayor flujo vehicular. Dicha simulación se realizó con un software denominado ProModel el cual permitió plasmar la situación actual del peaje en un primer escenario para después mejorar la situación en un segundo escenario el cual permitió realizar una mejora de los tiempos de espera en las colas, sin tener que alterar la realidad del sistema. Teniendo como resultado viable el escenario propuesto, con una reducción de 14.6min a 3.28 min para los autos de ida y de 13.9min a 3.52min para los autos de vuelta, siendo minutos que están dentro del acuerdo al contrato de la concesión para el tiempo de espera.

Palabras clave: Simulación, Peaje, Tiempos de Espera, Promodel, Vehículos.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la actualidad los sistemas de simulación “proporcionan la oportunidad de anticipar las consecuencias de decisiones estratégicas, las cuales enriquecen el sistema de planificación y facilitan la solución de algunas dudas de lo que podría pasar” Castro (2008).

En el ámbito industrial existen diversas formas de proponer mejoras para optimizar los tiempos de espera, según Portilla, Arias Montoya, & Fernandez Henao (2010) argumentan que: “La mayoría de los procesos que se presentan en las empresas de manufactura y de servicio, aparecen las líneas de espera. Esto debido a que casi siempre, la capacidad de servicio (en algún momento) es menor que la capacidad demandada”. Por ello para García (1996) “El modelo de un sistema de colas es bastante útil para tomar decisiones con respecto al servicio que se está ofreciendo en determinada situación, las líneas de espera largas son costosas porque además de costos implican perder prestigio y clientes”

Se tiene claro que, un modelo de simulación permite el análisis del funcionamiento de un proceso real pero no lo altera, solo brinda perspectivas, estrategias o propuestas para mejorar ese proceso, tal como menciona Taha (2012) la simulación permite establecer ciertos parámetros de funcionalidad en un sistema, pero no es una técnica de optimización, por otro lado, según Guasch Toni (2006) *“El uso de las técnicas de simulación como herramienta de ayuda a la toma de decisiones, es poder formalizar la experiencia y el conocimiento adquirido en la gestión del sistema y poder prever las mejores alternativas para alcanzar los objetivos”*. Entonces se puede corroborar que al ejecutar una simulación de un sistema se puede analizar el funcionamiento de este desde dos puntos de vista, el primero sería el de la situación inicial del sistema y el segundo la situación con la reprogramación del sistema proporcionando y en este la disminución del tiempo de espera en la situación inicial.

Según lo mencionado anteriormente, es que resulta importante medir los cambios que se puedan realizar en un modelo de simulación, tanto en su fase inicial, como en su propuesta de mejora, como lo explica García (2013) “Los pasos fundamentales para realizar la simulación es definir el sistema, analizarlo, crear un modelo básico, validarlo, crear otro modelo para proponer escenarios de mejora y probarlos, para posteriormente dar recomendaciones” Es por ello que en la presente investigación se planea diseñar dos escenarios para marcar un antes y un después y poder proponer las mejoras adecuadas.

Existen diferentes softwares que son utilizados para modelar procesos que requieran de un análisis y mejoras, entre ellos se pueden encontrar los simuladores como Arena, Witness, ProModel, entre otros. Para García (2006), La complejidad en la operación de los sistemas requieren de una modelación cada vez más apegada a la realidad, que permita un análisis profundo y detallado. Por ello, una de las herramientas que permitan modelar esta complejidad es justamente, el ya mencionado ProModel. Este simulador ayudara a analizar los resultados del sistema y de esta forma tomar decisiones para poder buscar nuevas opciones.

Conforma pasan los años, el incremento vehicular es latente a nivel mundial, asimismo, en algunos países más desarrollado, sus autopistas están diseñadas para disminuir la congestión dentro de una ciudad, por otro lado, existen sistemas de control vehicular que se conocen como peajes, según Ailan (2019) en un estudio denominado “*Estimación de tiempos de espera en peajes*” realizó esta investigación haciendo énfasis en el caudal vehicular que transita a través de los peajes ubicados en autopistas. En este análisis, se tiene un aproximado de vehículos que transitan diariamente, en los horarios de mayor tránsito. El autor mencionado aplicó técnicas de series de tiempo y teoría de colas con lo que logró que, haciendo uso de modelos basados en teoría de colas, estimar el tiempo de espera en cabinas de peaje. Estos resultados representan un reporte del estado actual de dichas plazas de peaje, y permiten generar estimaciones de

estados futuros. En la presente investigación utilizando los fundamentos de la teoría de colas se planea analizar los tiempos de espera que se dan en un peaje en la ciudad de Piura con conexión a la ciudad de Sullana.

Mejorar los sistemas de cobro y atención en los peajes resultan importantes ya que se puede agilizar este proceso con la finalidad de generar mayor ingreso al peaje y disminuir el tiempo de espera de los vehículos, tal como menciona Centenaro (2015) en su estudio denominado *“Mejoramiento de la capacidad de servicio en el cobro de peaje en la estación de Chilca”* donde mejoró la capacidad de cobro en la estación de peaje Chilca, para el cual utilizó el simulador ProModel y aplicó teoría de colas con la finalidad de mostrar soluciones con las cuales se puede mejorar los procesos y procedimientos, de tal manera que se incremente la capacidad de cobro sin saturar la estación de peaje. Tuvo como resultado que, para lograr la mejora de la capacidad de servicio para el cobro de peaje en la Estación Chilca, se debe difundir los medios de pagos alternativos como “Vales Prepago” y “Telepass”, ya que se incrementaría la capacidad de cobro y se reduciría el tiempo de atención y por consecuencia el tiempo de espera.

En las últimas décadas, la necesidad de transporte a generado que el tránsito vial incrementa causando principalmente en las capitales de los países, mayor congestión, algunas demoras, emergencias y daños en el ecosistema según Roberto Bull (2001). Dicha congestión se centra principalmente dentro de las ciudades, dejando de lado la congestión también existente en el sector de autopista de peaje. En la autopista que abarca las ciudades de Piura, con dirección a Sullana, es bastante concurrida puesto que en dirección hacia el norte se encuentran diferentes atractivos turísticos, así como la refinería de Petro Perú, por otro lado, esta autopista conecta Piura con la ciudad de Tumbes y diferentes distritos y provincias, por tan motivo viene a ser muy concurrida. En el Peaje actualmente, se tienen dos personas encargadas de los cobros de

peaje, una de ellas en la ruta de ida (Piura – Sullana) y otra de la ruta de vuelta (Sullana – Piura), por ser muy concurrida esta autopista se han observado acumulación de vehículos que esperan cierta cantidad de tiempo para pasar por el peaje, es por eso que la presente investigación abarca el diseño y análisis de la simulación de para dar una posible solución a esta problemática de las unidades móviles y así reducir su tiempo de espera con pruebas que determinaran cual es el tiempo más óptimo mediante una simulación realizada con un software denominado ProModel el cual permite recrear la situación actual del peaje para poder analizar los resultados y así poder modificar satisfactoriamente dicho peaje sin tener que alterar la realidad de este.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida el diseño de un sistema de simulación lograra la disminución del tiempo de espera de los vehículos en la estación de peaje Sullana-Piura?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de simulación para disminuir los tiempos de espera de vehículos en la autopista Sullana-Piura

1.3.2. Objetivos específicos

- Describir la información general de la empresa
- Realizar un diagnóstico en la autopista de peaje de la estación Sullana-Piura
- Desarrollar y correr la simulación de la autopista de peaje de la estación Sullana-Piura
- Analizar los resultados y plantear una propuesta de mejora para optimizar la congestión vehicular en la autopista de peaje de la estación Sullana-Piura

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El diseño de un sistema de simulación lograra disminuir el tiempo de espera de los vehículos en el peaje de la estación Sullana-Piura.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

- a. **Enfoque:** Según la naturaleza de los datos, es cuantitativa. Para Díaz (2014) “Los datos son el resultado de la medición de un concepto, sus resultados serán numéricos y deben ser tratados, a su vez, por métodos específicos para tales efectos”. Por ello se analizará los indicadores y posteriormente se dará una solución al objetivo.
- b. **Tipo:** Es una investigación de tipo aplicada, para Murillo (2008) “También llamada investigación práctica, se enfoca en buscar la aplicación de conocimientos ya estudiados y a su vez obtener otros”.
- c. **Diseño:** El diseño de esta investigación es Cuasi experimental, también llamada Pre experimento, según Anales de Psicología (2014) “Es aquella que tiene como objetivo poner a prueba una hipótesis causal manipulando por lo menos una variable independiente donde por razones logísticas o éticas no se puede asignar las unidades de investigación aleatoriamente a los grupos”.
- d. **Método de investigación:** Se utilizó un modelo de simulación utilizando ProModel con el que inicialmente para diseñar el modelo de simulación en el software se tomó en consideración la información general del software tal como se ve en la Figura 1.

Figura 1

Panel de información general del simulador ProModel

Información General

Título:

Librería Gráfica:

Instrucciones del

Unidades

Tiempo En

☐ Segundos

☒ Minutos

☐ Horas

☐ Dias

Distancia

☐ Pies

☒ Metros

Lógica

☐ Usar SharePoint

Servidor:

Es importante indicar las medidas de distancia a considerar, en este caso se seleccionó metros, así también las unidades del tiempo a analizar, en minutos.

Locaciones: En ProModel, son consideradas como las áreas donde se llevarán a cabo las operaciones asignadas. Ver Figura 2.

Figura 2

Grafico del panel de locaciones del simulador ProModel



Dentro del panel de locaciones se debe seleccionar los gráficos que se desean utilizar, para la presente investigación se utilizaron gráficos adicionales los cuales fueron importados al ProModel para mejorar la visualización del modelo de simulación. Ver Figura 3.

Figura 3

Grafico del panel de locaciones utilizado en el simulador ProModel



Una vez seleccionado el gráfico se procede a completar el panel de locación tal como se muestra en la Figura 4, se asigna un nombre a la locación, se indica la capacidad que va a tener cada locación, lo que repercutirá en los resultados puesto que a mayor capacidad de atención mayores serán los resultados.

Figura 4

Panel superior de locaciones del simulador ProModel

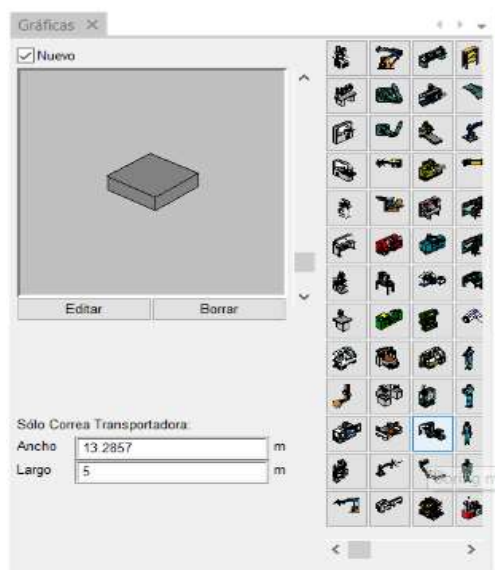
Icono	Nombre	Cap.	Unidades	Tiempo...
-------	--------	------	----------	-----------

Asimismo, se indican las unidades, las cuáles son la cantidad de la misma locación a considerar. Posteriormente dentro del panel de locaciones se puede programar tiempos muertos si es que hubiese, en el presente modelo no se consideraron puesto que el sistema de cobro en peaje es continuo y no presenta paros programados.

Entidades: Es importante crear entidades ya que estas representarán a los vehículos que van pasando por el sistema de peaje mostrado, para ello es posible seleccionar una gráfica predeterminada o importar una adicional. En la presente simulación se consideraron gráficas adicionales. Ver Figura 5.

Figura 5

Panel de control de entidades del simulador ProModel



Asimismo, se puede indicar las dimensiones de la entidad, en este caso se consideró 1.798 metros de ancho y 4.313 metros de largo, los cuales son las dimensiones promedio de un vehículo según la guía de medidas de coches CanalMotor, (2020). La velocidad de la entidad también se puede manipular, esto también influye en un modelo de simulación puesto que puede alterar los resultados, para la presente investigación se consideró 20 km/hr que es la velocidad reglamentaria para pasar por peajes.

Arribos: Los arribos denotan a la entidad en el momento inicial que llega a una locación García & Dunna, (2006) cabe mencionar que si no existen arribos, el modelo no funcionaría adecuadamente.

Figura 6

Panel de arribos del simulador ProModel



Como se puede apreciar en la Figura 6, se indica la entidad y la locación en donde iniciará su proceso o recorrido, así como la cantidad por arribo que indica cuántas entidades van ingresando a cada locación. La “primera vez”, indica el minuto en el que la entidad aparecerá en la locación, las ocurrencias vienen a ser la cantidad de veces que sucede lo indicado anteriormente. La frecuencia indica, tal como su nombre dice, la frecuencia con la que va pasando la entidad por cada locación asignada, para ello se utiliza la distribución exponencial García & Dunna, (2006).

Procesamiento: Para el procesamiento se manejan dos paneles, tal como vemos en las Figuras 7 y 8.

Figura 7

Panel de entrada simulador ProModel



Figura 8

Panel de salida simulador ProModel



En la Figura 7, se puede observar el panel de entrada, en el cual se va indicando como va pasando cada entidad por cada locación según el proceso que se desea plasmar. En la sección operación se indica en función al tiempo u otra acción, lo que realizará la entidad.

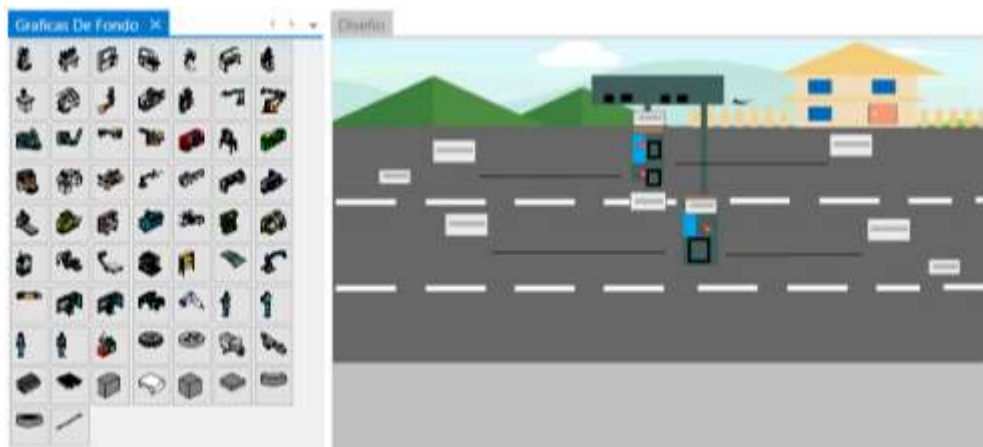
En la Figura 8, se muestra el panel de salida, en el cual se debe indicar en la sección “salida” la entidad resultante de la operación inicial (indicada en el panel de entrada), asimismo, se indica la locación de destino y la regla que debe cumplir. Finalmente, se asigna la lógica de

movimiento, la cual viene a ser el tiempo que se toma la entidad al desplazarse de la locación 1 a la locación 2.

Gráficas de fondo: Tal como se observa en la Figura 9, el simulador ProModel permite crear gráficas de fondo, esto permite al investigador mejorar el modelo a nivel de visualización ya que trata de adecuar a la realidad lo que se plasma en el simulado. En la presente investigación, se trató de recrear la autopista del peaje Sullana -Piura.

Figura 9

Gráficas de fondo del simulador ProModel



Atributo: Los atributos sirven para identificar características de alguna entidad o locación. Para poder asignar o generar un atributo se debe conocer este panel.

Figura 10

Panel de atributos del simulador ProModel

ID	Tipo	Clasificación	Notas...
----	------	---------------	----------

Como se muestra en la Figura 10 el panel de atributos comienza con un ID que es un nombre de identificación de atributos, siguiendo con el tipo según corresponda es real o entero, que en este caso será real, continuando con la clasificación que según corresponda se clasifica en entidad o locación, en este caso será locación.

Variables: Se usan para registrar cierta información dentro de la simulación, en este caso para contabilizar la cantidad de vehículos que llegan, salen, tiempo de ciclo y la cola según sea su dirección

Figura 11

Panel de variables del simulador ProModel



Según muestra el panel empieza con la decisión de icono, el cual, SI se utiliza en esta simulación, continuando con un nombre de identificación y tipo que sería entero ya que contara los automóviles teniendo un valor inicial de 0.

Opciones de Simulación: Permite modificar varias opciones y parámetros de la simulación

Figura 12

Panel de opciones de simulación de ProModel

Opciones de Simulación

Resultados: Buscar...

Ejecución:

Tiempo de corrida

☒ Tiempo ☐ Semanal ☐ Calendario

☐ Período Estabilización

Tiempo Estabil.*:

Tiempo Simul.*:

*A menos que se especifique lo contrario, la unidad de tiempo por defecto HORA.

Precisión del Reloj

☐ Segundo ☐ Hora

☒ Minuto ☐ Día

Reporte de Resultados

☒ Estándar ☐ Lotes ☐ Periódico

Tamaño de Intervalo:

Número de Réplicas:

Deshabilitar

☐ Animación ☐ Costo

☐ Exportar Arreglo ☐ Serie de Tiempo

Al Inicio

☐ Pausa ☐ Notas de Modelo

☐ Rastrear ☐ Panel de Vistas

General

☐ Ajustar para Horario de Verano

☐ Generar Script de Animación

☐ Números Aleatorios Comunes

☒ Omitir TMs de recursos si están fuera de turno

☐ Recompilar Redes

Abrir Visualizador(es)

☒ Output Viewer

☐ Minitab

El tiempo de corrida de la simulación puede ser por tiempo, semanas o calendario, en este caso se utilizó 8 horas, escogiendo la precisión del reloj en minutos, con un reporte de resultados estándar y número de réplicas según cada escenario.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

- **Unidad de estudio:** En la presente investigación la unidad de estudio es el proceso de atención de vehículos en la autopista de peaje de la estación Sullana-Piura que genera tiempos de espera, durante año 2020

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas de recolección de datos

En la presente investigación los datos obtenidos son recogidos de fuentes primarias según las técnicas de observación y análisis de documentos. A continuación, se detalla cada técnica:

Tabla 1

Técnicas para la recolección de datos.

Método	Fuente	Técnica
Cualitativo	Primaria	Observación directa

Elaboración Propia

2.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Para esta investigación se realizó una tabla la cual justifica y nombra cada instrumento usado según su técnica y aplicación,

Tabla 2

Instrumentos de recolección de datos

Técnica	Justificación	Instrumentos	Aplicación en:
Observación directa	Para la toma de tiempos en cuanto a la llegada de los automóviles, tiempos de espera	Guía de observación	Unidades Móviles, tiempos

Elaboración Propia

Esta información es descrita de la siguiente manera:

- a) **Observación:** Para Diaz Sanjuan (2011) Es un elemento fundamental de todo proceso de investigación; en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos.
- b) **Objetivo:** Determinar los tiempos de interllegada, tiempos de espera de los automóviles.
- c) **Instrumentos:** Guías de observación.

2.3.3. Análisis de gráficos estadísticos

Los resultados obtenidos se organizarán para poder presentarse mediante:

- Tablas
- Gráficos
- Histograma

2.3.4. Programas

- Microsoft Office: Word, Excel
- Promodel

2.4. Procedimiento

Para la recolección de datos se realizó una guía de observación para poder obtener datos reales del sistema, la validación de estos instrumentos fue por medio de una adaptación de un instrumento ya validado por la universidad.

Para el análisis de datos se realizó un registro en Excel a través de los datos tomados de la guía de observación lo cual sirvió de guía para ver si existen colas, obteniendo una cantidad de automóviles en espera dentro de un tiempo explicito para después sacar más tiempos. Después de aplicar este instrumento y obtener la información necesaria se procedió a realizar la simulación en el software Promodel, cada dato ayudo a que el sistema de simulación que en este caso fue la autopista de peaje sea lo más real posible.

2.5. Matriz de operacionalización

Tabla 3 Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEF CONCEPTUAL	DEF OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR
VI: Sistema de simulación	Los sistemas de simulación son un conjunto de actividades que tienen el mismo fin y se puede simular mediante algún programa para modificar su realidad sin alterar nada	“Es la operación de un modelo(simulador), el cual es una representación del sistema. Este modelo puede sujetarse a manipulaciones que serían imposibles de realizar, demasiado costosas o imprácticas”, según Shubik,(2008).	Locaciones	% operación
				% inactivo
				% vacío
				% ocupado
			Entidades	% Utilización
				% operación
				% esperando
VD: Tiempo de espera	Es la duración que se da al quedarse en un lugar por un determinado momento con el fin de recibir un servicio	Según la teoría de colas “Trata del estudio y análisis de las colas o líneas de espera. La formación de líneas de espera es un fenómeno común, que ocurre siempre que la demanda actual de un servicio excede la capacidad actual de proporcionarlo” para Garcia, (2015) .	Tiempos	% bloqueado
				Frecuencia de llegada
				Tiempo ocioso
				Tiempo en el sistema
				Tiempo operación

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

3.1. Información de la empresa – Ámbito de acción – Contexto

La autopista del Sol Tramo Trujillo – Sullana. tiene un plazo de 25 años por la concesionaria Vial del Sol S.A, esta autopista une las ciudades de Sullana, Piura, Chiclayo y Trujillo. Según (OSITRAN, Informe de Desempeño de la Concesión de la Autopista del Sol, 2012)

Figura 13

Autopista del Sol Tramo Trujillo Sullana



Fuente: Informe de Desempeño de la Concesiones viales de la Costa – 2013

En la figura anterior se muestra la extensión de toda la autopista del sol, de la cual solo de trabajará con el tramo Piura – Sullana donde se encuentra la estación de peaje que se va analizar, donde suele aumentar el flujo vehicular en épocas de verano, los días feriados o el ir

y regresar, generando tráfico vehicular, siendo la segunda estación Piura-Sullana de peaje con mayor nivel de tráfico, con una afluencia de 2,72 millones de vehículos en el año 2018 (OSITRAN, Informe de Desempeño de la Concesión de la Autopista del Sol , 2018).

La ubicación del peaje en estudio se recoge en la carretera Piura - Sullana en el Km. 1018+710 de la Panamericana Norte, a 13 kilómetros al sur de Sullana

Figura 14

Vista en Planta de la Estación de Sullana



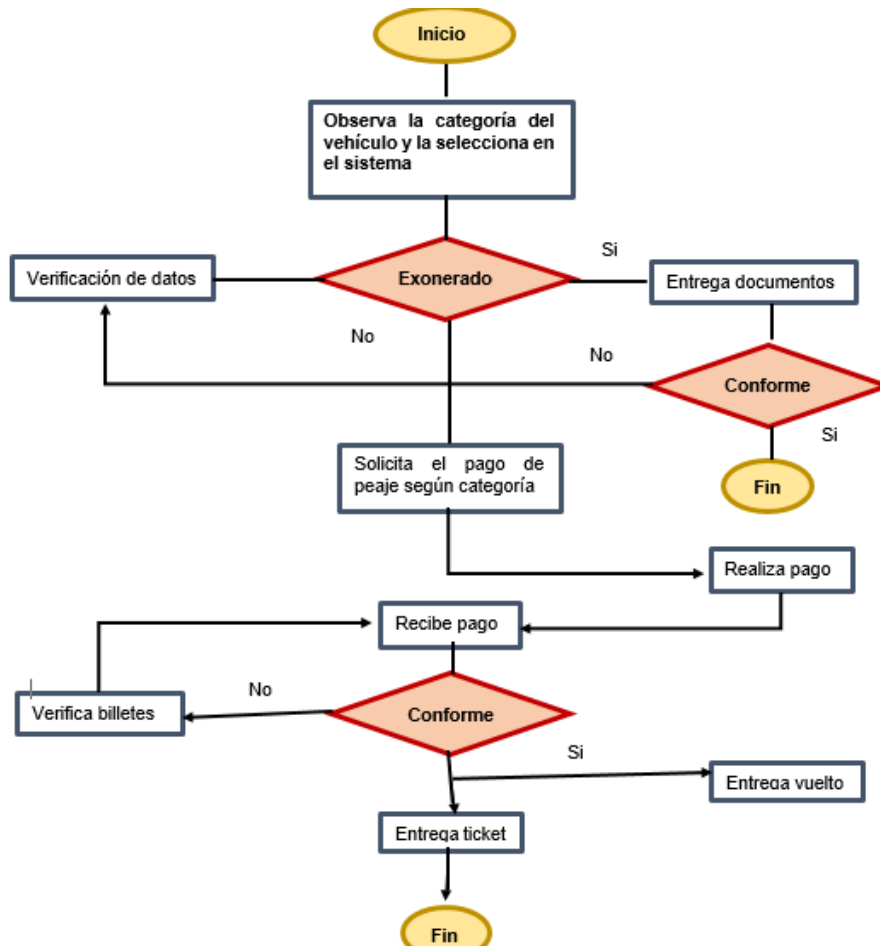
Fuente: Google Earth

El servicio de cobro se realiza en ambos sentidos del peaje, Piura – Sullana (ida) y Sullana – Piura (vuelta) y actualmente cuenta con 2 casetas de cobro activas con horarios rotativos.

3.1.1. Flujograma del proceso de atención en el peaje

Figura 15

Flujograma del proceso de atención del Peaje Sullana – Piura



El proceso de atención empieza cuando el automóvil llega a la caseta del peaje donde se encuentra el cobrador del peaje, este observa la categoría del vehículo, para después seleccionar dicha categoría en el sistema y ver si el automóvil se encuentra exonerado del cobro si este cliente se encuentra exonerado solo tendría que entregar su documento de identidad si todo está conforme, se devuelve el documento al cliente y ese sería el fin del procedimiento; caso contrario debe ser verificado los datos del cliente por el administrador del peaje para corroborar si su estado es estar exonerado, en caso no este exonerado, el cobrador del peaje solicita el pago del peaje al cliente según su categoría, el cliente realiza el pago y el

cobrador lo recibe, si todo está conforme el cobrador le entrega el vuelto (en caso sea necesario) y también el ticket finalizando así el proceso, caso contrario no esté conforme el cobrador debe verificar el dinero recibido si todo está conforme el proceso sigue hasta llegar al fin y si no entonces se solicita al cliente el cambio del dinero y se continua con el proceso normal hasta finalizar.

3.2. Diagnostico actual

Para realizar el diagnóstico actual se debe conocer los datos generales con los que se trabajarán los escenarios en el simulador ProModel, para ello se utilizó una hoja de cálculo de donde se obtuvieron resultados por (a) Tiempo promedio de atención y (b) Análisis de la interllegada.

a) Tiempo promedio de atención

Mediante la observación se pudo obtener 421 datos que fueron procesados a una base de datos (ver anexo 2) para posteriormente poder analizar el resultado del tiempo promedio de atención del servicio de cobro en el peaje.

Este resultado es el promedio de todos los tiempos de atención entre las horas de 10 am y 5 pm que se consideró como horas más transcurridas durante el periodo de una semana, siendo 4 minutos con 3 segundos.

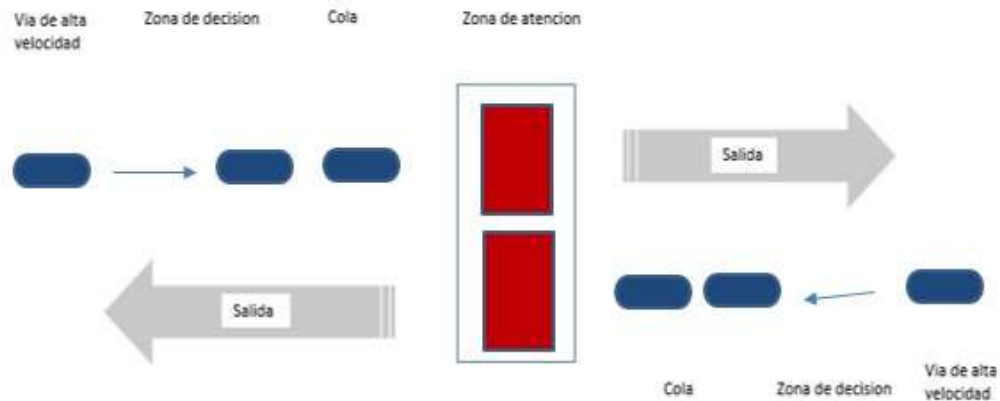
El resultado se encuentra dentro del tiempo establecido dicho por los cobradores y el contrato pactado en la concesión que es el de máximo 3 minutos que seria 180 segundos, sin embargo, se encuentra al límite de tiempo.

b) Análisis de la interllegada

La interllegada es el tiempo que demora en llegar un vehículo entre otro vehículo al sistema. Es importante conocer este dato puesto que, para diseñar el sistema de simulación, este servirá para controlar los arribos.

Figura 16

Sistema actual del peaje



Se muestra en la figura el sistema del peaje desde la vía de alta velocidad, continuando con la zona de decisión según el tipo de automóvil, llegando a la cola para la zona de atención y llegar a la salida del peaje, donde se trabaja solamente con 2 casetas, una de ida y una de vuelta.

Mediante la observación se tuvo una tabla de datos (ver anexos 2) de donde se consiguió el tiempo promedio de interllegada, siendo el resultado del análisis actual 1 minuto.

Tabla 4 Datos según unidades móviles e interllegada

Datos según unidades móviles e interllegada

Promedio unidades móviles	2 unidades
Interllegada	1 minuto

Fuente: Elaboración propia

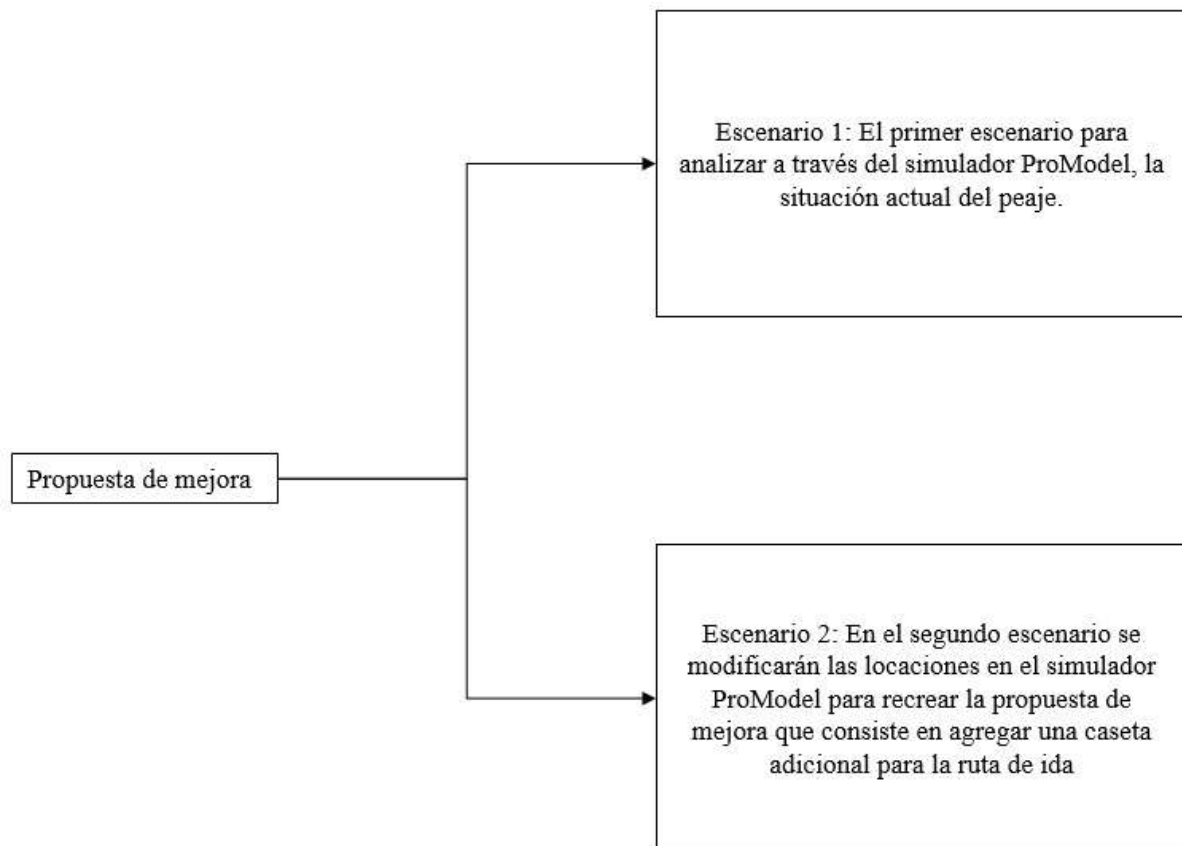
Según la tabla anterior, se muestra el promedio de la cantidad de unidades móviles que llegan al sistema con un minuto de interllegada, lo que significa que llegan dos automóviles cada un minuto al sistema.

3.2.1. Modelamiento de la investigación

Para la propuesta de solución se plasmó la situación actual en el simulador ProModel como primer escenario para después mejorar dicha situación en un segundo escenario

Figura 17

Propuestas de mejora según escenarios



Como se observa la propuesta de solución tiene dos escenarios, teniendo en cuenta que los datos se obtuvieron mediante la técnica de observación

Horizonte de simulación. Se obtuvo multiplicando las 421 observaciones por 7 para así reducir el rango de incertidumbre, teniendo 2947 pero se tomó como 3000 el horizonte de simulación.

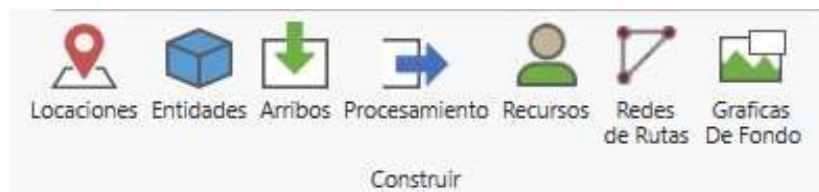
Según la fórmula utilizada para obtener la muestra de esta investigación, se obtuvo primero una muestra de 385 pero posteriormente se trabajó con 421 observaciones (Ver anexo 2) para completar las horas del tiempo más concurrido en el peaje que es de 10 am a 5 pm, este es el tiempo de llegadas de vehículos más frecuente al peaje Sullana – Piura y se da en épocas muy concurridas del año, como son feriados, fines de semana o tiempo de verano, causando Congestión vehicular en el peaje.

3.2.2. Variables del primer escenario

Para el desarrollo del primer escenario en el software ProModel se tuvo en cuenta en la barra de Construir los siguientes comandos como muestra la figura:

Figura 18

Herramientas utilizadas en ProModel



En donde:

Diseño de Locaciones: La siguiente figura muestra el nombre, capacidad y unidades que se utilizó para formar las locaciones

Figura 19

Locaciones del sistema actual

Icono	Nombre	Cap.	Unidades	TMs...
	CAJA_1	1	1	Ninguna
	CAJA_2	1	1	Ninguna
	R1_IDA	INFINITE	1	Ninguna
	R2_IDA	INFINITE	1	Ninguna
	R1_VUELTA	INFINITE	1	Ninguna
	R2_VUELTA	INFINITE	1	Ninguna

Para esta investigación se fijó dos pequeñas locaciones en donde se realiza el proceso, considerando la Caja 1 de ida y la Caja 2 de vuelta que es donde se realizara principalmente la simulación para formar las colas en el peaje, considerando una capacidad igual para ambas cajas. Esta capacidad es unitaria puesto que cada cajero solo dispone de un espacio para atender una unidad móvil.

Asimismo, se creó también dos rutas de ida, una que es cuando entra al peaje y otra cuando sale del peaje, siendo lo mismo para las rutas de vuelta, considerando capacidades infinitas con las que se logró analizar cuánto se puede acumular en un lapso de tiempo.

Además, para las bandas transportadores se consideró de 35 metros ya que al inicio del peaje hay una parte más angosta que lleva directo a las casetas de atención. En total se utilizaron 6 locaciones para el primer escenario.

Diseño de Entidades:

Tipo de unidad móvil

Es importante analizar el tipo de unidad móvil ya que, pueden existir en un escenario real, incremento de los tiempos de paso por el peaje por el tipo de atención que se brinda. Por ello, se ha analizado en función a la muestra (385) los tipos de vehículos que van pasando, por el peaje Piura- Sullana, con mayor frecuencia.

Tabla 5

Tipo de vehículo

TIPO DE VEHÍCULO	FRECUENCIA
Motocicletas	49
Auto	90
Camioneta	95
Bus local	41
Bus interprovincial	49
Camión mediano	29
Camión grande	17
Vehículo especial	15

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla anterior se puede observar que, dentro del periodo estimado para observar la situación del peaje, se identificó que en su mayoría, son autos y camionetas que transitan por estas zonas ya que esta ruta conecta con los atractivos turísticos del norte del país, por lo que en toda época del año y más aún en los meses de verano se incrementan los turistas, los cuales se transportan en su mayoría en este tipo de vehículo, asimismo van pasando por este peaje buses locales, que se dedican al traslado de personas entre las zonas y distritos aledaños. Los buses interprovinciales también pasan por aquí, en menor cantidad ya que transitan en un horario establecido, por otro lado, camiones entre medianos y grandes también se trasladan por esta zona ya que los conecta con las zonas agrarias como Tambo Grande, finalmente también se observó dentro del periodo de tiempo analizado, el paso de vehículos especiales, los cuales son aquellos como cama baja, que transportan maquinaria, aquellos que transportan combustible, ya que por esta autopista también se conecta con la Refinería de Petro Perú, ubicada en Talara. Según lo mencionado anteriormente, se ha creído conveniente diseñar el sistema de simulación utilizando los que, por mayoría, son vehículos como autos y camionetas utilizando las dimensiones promedio para crear las entidades.

Figura 20

Entidades del sistema actual

Entidades X		
Icono	Nombre	Velocidad (Ppm)
	CARRO_IDA	20
	CARRO_VUELTA	20

Teniendo en cuenta el análisis del tipo de unidad, se consideró los automóviles que van y que vuelven, para mejorar la visualización de estos automóviles, se cambió el color de los iconos por rojo a los automóviles que van y azul a los vuelven como se muestra en la figura, además se consideró como velocidad 20 km/h ya que al momento de pasar por el peaje se tiene que reducir la velocidad. En total se utilizaron 2 entidades para el primer escenario.

Diseño de Arribos:

Figura 21

Arribos del sistema actual

Arribos X					
Entidad..	Locación..	Cant. por Arribo..	Primera Vez..	Ocurrencias	Frecuencia
CARRO_IDA	R1_IDA	1	0	INF	E(2) MIN
CARRO_VUELTA	R1_VUELTA	1	0	INF	E(1) MIN

Para los arribos se consideró una cantidad por arribo, con ocurrencias infinitas y en frecuencia se toma a lambda que son dos minutos para el carril de ida y un minuto para el carril de regreso mostrando la posibilidad de factibilidad cuando se acumulan las colas. En total se crearon 2 arribos, indispensables para el funcionamiento del modelo de simulación

Diseño del Proceso:

Figura 22

Procesos del sistema actual

Entidad...	Locación...	Operación...
CARRO_IDA	R1_IDA	Inc VEHICULOS_QUE_LLEGAN_1
CARRO_IDA	CAJA_1	WAIT N(11,1.2) MIN
CARRO_IDA	R2_IDA	
CARRO_VUELTA	R1_VUELTA	Inc VEHICULOS_QUE_LLEGAN_2
CARRO_VUELTA	CAJA_2	WAIT N(11,1.2) MIN
CARRO_VUELTA	R2_VUELTA	

Se consideró como proceso al vehículo de ida que ingresa a la primera ruta del sistema pasando por el peaje y continuando por la ruta de salida, el proceso que se genera a la par es el vehículo de vuelta que ingresa a la segunda ruta y pasa por el peaje continuando por la segunda ruta hasta la salida, variando los tiempos de atención con la distribución normal y desviación estándar.

Para activar el proceso en la columna de lógica de movimiento escribimos que el atributo CICLO_1 que es para la primera caseta en la primera caja de ida es igual al reloj (CLOCK()), contabilizando hasta el carro que esta de ida sale a la ruta dos que permite contabilizar el tiempo de atención

Diseño de Atributos: Se creó atributos para el tiempo del ciclo que ayuda a realizar el conteo del tiempo de atención

Figura 23

Atributos del sistema actual

ID	Tipo	Clasificación
CICLO_1	Real	Loc
CICLO_2	Real	Loc

Se consideró como atributos al CICLO_1 y CICLO_2, también en la columna denominada tipo se indica una variable Real ya que para el atributo del tiempo de atención puede llevar decimales, también en la columna de clasificación se consideró Loc que hace referencia a la locación. Se crearon en total 2 atributos para el primer escenario.

Diseño de Variables:

Figura 24

Variables del sistema actual

Icono	ID	Tipo	Valor Inicial
Si	VEHICULOS_QUE_LLEGAN_1	Integer	0
Si	VEHICULOS_QUE_SALEN_1	Integer	0
Si	VEHICULOS_QUE_LLEGAN_2	Integer	0
Si	VEHICULOS_QUE_SALEN_2	Integer	0
Si	T_CICLO_1	Integer	0
Si	T_CICLO_2	Integer	0
Si	COLA_1	Integer	0
Si	COLA_2	Integer	0

Se consideró como variables de conteo dentro del modelo de simulación a los vehículos de ida que llegan por la primera ruta (VEHICULOS_QUE_LLEGAN_1, con un tiempo de ciclo(T_CICLO_1) y los vehículos que salen(VEHICULOS_QUE_SALEN_1), teniendo en cuenta la cola que realizan(COLA_1), de igual forma para los vehículos que vuelven, llegan al peaje(VEHICULOS_QUE_LLEGAN_2), tienen un tiempo de ciclo(T_CICLO_2) y después salen(VEHICULOS_QUE_SALEN_2), teniendo en cuenta la cola(COLA_2).

Los iconos son plasmados dentro de layout de la simulación.

Después de ingresar todos los datos a ProModel, se corrió la simulación en el lapso de 8 horas que es un turno de atención y se tuvo los siguientes datos de la situación actual

3.2.3. Análisis de indicadores variable independiente

Dimensión: Locación

Tabla 6

Porcentajes capacidad según cajas en las locaciones en la situación actual

Locaciones	% Operación	% Inactivo
CAJA 1	99.65	0.35
CAJA 2	99.65	0.35

Fuente: Elaboración propia

Para las cajas de ida (1) y cajas de vuelta (2) se observa que la mayor parte del tiempo se encuentra activa con un 99.65% por parte de ambas cajas, teniendo un 0.35% de inactividad.

Lo que indica que el tiempo promedio ocioso es mínimo

Tabla 7

Porcentajes capacidad según rutas en las locaciones en la situación actual

	% Vacío	% Parte Ocupada
R1 IDA	0.03	99.97
R2 IDA	85.13	14.88
R1 VUELTA		100.00
R2 VUELTA	84.06	15.94

Fuente: Elaboración propia

Para los porcentajes de capacidad de las rutas, la primera ruta que es antes de llegar a la primera caja se mantiene ocupada con un 99.97% lo que quiere decir que existen colas al igual que la

primera ruta de vuelta manteniéndose ocupada con un 100%, entonces al pasar el peaje las rutas de salida se mantienen igualmente vacías con una diferencia de 1.07% entre ambas y ocupadas con la diferencia de 1.06%.

Se obtuvo la siguiente figura al terminar la primera corrida en Promodel para el primer escenario de la simulación del peaje

Dimensión: Entidad

Tabla 8

Porcentajes de utilización de entidades según los carros en la situación actual

	% Esperando	% En Operación	% Bloqueado
CARRO IDA	87.70	7.05	5.26
CARRO VUELTA	89.37	6.12	4.51

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 8 muestra que los carros que van en la ruta de ida y vuelta se encuentran esperando lo que indica que genera colas, teniendo un porcentaje mayor de operación por parte de los carros de ida con un 7.05% pero con mayor bloqueo, en comparación a los carros de vuelta con un 6.12% de operación, pero con un menor porcentaje de bloqueo

Dimensión: Arribos

Indicador: Frecuencia de Llegada

Como se indica en la tabla 9, la frecuencia de Llegada para ambos escenarios no cambiará puesto que se desea conocer bajo la cantidad de afluencia de vehículos, como se mejoraría el sistema, por lo tanto la frecuencia será:

Tabla 9

Frecuencia de llegada

Frecuencia de llegada	2 minutos con distribución exponencial
-----------------------	--

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Análisis de indicadores Variable Dependiente

Dimensión: Tiempo

Indicador: Tiempo ocioso promedio

Después de realizar una observación en la actividad que realizan los cajeros y procesar la información en Excel (ver anexos 6) se tiene como resultado los siguientes cuadros

Tabla 10

Tiempo promedio ocioso en la cajera de Piura - Sullana y Sullana - Piura

CAJERA IDA	CAJERA VUELTA
T. Ocioso	T. Ocioso
0.14	0.4

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados se obtuvieron luego de hacer una simulación de la situación actual (ver anexo 4), este tiempo ocioso se obtuvo al restar el inicio de las operaciones menos el termino anterior de estas con un condicional, obteniendo al final un tiempo promedio ocioso para la cajera de ida (Piura Sullana) de 14 segundos y la de vuelta (Sullana – Piura) de 4 segundos, por lo que se puede ver que no tienen mucho tiempo ocioso.

Tabla 11

Porcentajes de indicadores según los tiempos de los carros en la situación actual

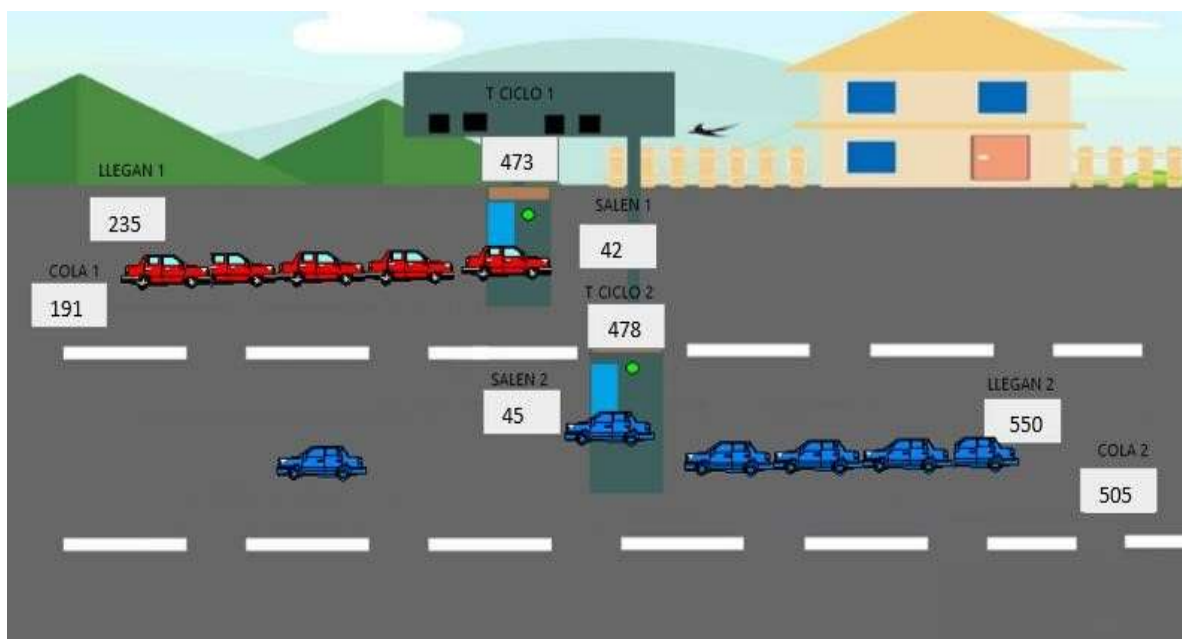
Nombre	Total Salidas	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)
CARRO IDA	42.00	207.7	14.6
CARRO VUELTA	45.00	228.64	13.9

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se observa el total de salidas para cada auto, teniendo 42 unidades de carros en ida que salieron del peaje en el lapso de 8 horas y 45 unidades de carros con la dirección de vuelta, también se calculó el tiempo en el sistema el cual fue mayor por parte del carro de vuelta con 228.64 minutos en comparación a 207.7 minutos del carro de ida, además se tuvo un tiempo promedio de operación por parte de los carros de ida con 14.6 minutos en comparación a los de vuelta con 13.9 minutos.

Figura 25 Primer escenario en Promodel

Primer escenario en Promodel



Según el Software Promodel se observa en el primer escenario que se acumulan 191 automóviles provocando colas para la ruta de ida y 505 automóviles para la ruta de vuelta, llegan a la ruta de ida 235 automóviles y a la ruta de vuelta 550 automóviles, teniendo un tiempo de ciclo en cada caseta que son los 473 automóviles que pasan por la ruta de ida y 478 automóviles por la ruta de vuelta, saliendo 42 automóviles para la ruta de ida y 45 automóviles para la ruta de vuelta.

3.2.5. Validación en hoja de cálculo

Mediante la observación se recopiló una serie de datos, los cuales al ser plasmados y analizados en una hoja de cálculo (ver anexos 2 y 3), se pudo obtener el tiempo de espera promedio para cada cajera utilizando un condicional y teniendo en cuenta el horizonte de simulación de 3 mil datos, se tienen los siguientes resultados mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12

Primer escenario en Promodel

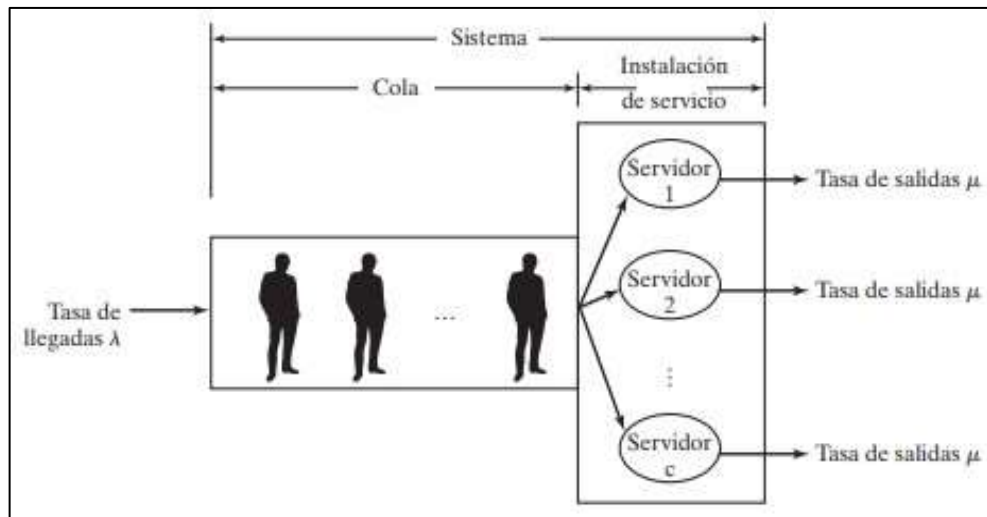
CAJERA IDA	CAJERA VUELTA
T. Espera	T. Espera
2169.22	880.09

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de espera en la caseta de la cajera de Piura – Sullana (Ida) es de 2169.22 segundos, y en la caseta de la cajera Sullana – Piura (Vuelta) es de 880.09 segundos, lo que es muy elevado y genera incomodidad (datos considerados para un horizonte de 3 mil unidades).

Figura 26

Representación esquemática de un sistema de colas con tres servidores paralelos



Fuente: Libro de Investigación de operaciones de Pearson

La cantidad de unidades móviles en espera que se logró analizar la cual se obtuvo mediante una formula en Excel que permitió saber si existía colas o no y cuantos automóviles formaban dicha cola.

Mediante la observación se logró tener los datos de una muestra que ayudo a determinar el estado actual del peaje y así poder analizarlo (ver anexos 4)

Tabla 13

Cola en la vía Piura – Sullana y Sullana - Piura

CAJERA IDA	CAJERA VUELTA
Cola	Cola
1920	1077

Fuente: Elaboración propia

Según la cajera de la caseta Piura – Sullana (ida) genera 1920 automóviles en espera en comparación a la cajera de la caseta de Sullana – Piura (vuelta) que genera 1077 automóviles

en espera que es menor. Dichos resultados se obtuvieron de los datos recolectados mediante la observación y plasmados en

Excel realizando una simulación con un horizonte de 3000 unidades.

Se realizó un cuadro resumen para el diagnóstico actual

3.3. Propuesta de mejora






3.3.1. Variables del segundo escenario

Para realizar el segundo escenario de mejora se incrementó la utilización de algunos comandos, modelándolo para una nueva caseta de peaje

Diseño de Locaciones

Figura 27

Locaciones del nuevo sistema

Icono	Nombre	Cap.	Unidades	TMs...
	CAJA_1_IDA	2	1	Ninguna
	CAJA_2_IDA	1	1	Ninguna
	CAJA_3_VUELTA	1	1	Ninguna
	R1_IDA	INFINITE	1	Ninguna
	R2_IDA	INFINITE	1	Ninguna
	R1_VUELTA	INFINITE	1	Ninguna
	R2_VUELTA	INFINITE	1	Ninguna

Para este nuevo escenario se fijó dos locaciones en las cuales se realiza el proceso, considerando la Caja 1 de ida, la Caja 2 de ida y la Caja 3 de vuelta, que es donde se realizara principalmente la simulación para formar las colas en el peaje, para las cajas 2 ida y 3 vuelta se considera una capacidad igual, sin embargo la caja 1 ida tiene una doble capacidad y cabe recalcar que en una caseta se encuentran las dos cajas de ida.

Se creó dos rutas de ida para la primera caseta, una que es cuando entra al peaje R1_IDA y otra cuando sale del peaje R2_IDA, lo mismo para las rutas de vuelta, se consideró capacidades


infinitas

También, para las bandas transportadores se consideró de 35 metros ya que al inicio del peaje hay una parte más angosta que lleva directo a las casetas de atención.

Diseño de Entidades

Figura 28

Entidades del nuevo sistema

Icono	Nombre	Velocidad (Ppm)
	CARRO_1_IDA	20
	CARRO_2_IDA	20
	CARRO_3_VUELTA	20

Se consideró los automóviles que van es decir los de ida y los que vuelven, para mejorar la visualización de estos automóviles, se cambió el color de los iconos por rojo y verde a los automóviles que van por la misma ruta, el azul a los vuelven por otra, también se consideró como velocidad de 20 km/h ya que al momento de pasar por el peaje se tiene que reducir la velocidad.

Diseño de Arribos

Figura 29

Arribos del nuevo sistema

Entidad...	Locación...	Cant. por Arribo...	Primera Vez...	Ocurrencias	Frecuencia
CARRO_1_IDA	R1_IDA	1	0	INF	E(2) MIN
CARRO_2_IDA	R1_IDA	1	0	INF	E(2) MIN
CARRO_3_VUELTA	R1_VUELTA	1	0	INF	E(2) MIN
CARRO_1_IDA	R2_IDA	1	0	INF	E(2) MIN
CARRO_2_IDA	R2_IDA	1	0	INF	E(2) MIN
CARRO_3_VUELTA	R2_VUELTA	1	0	INF	E(2) MIN

Para los arribos se consideró una cantidad por arribo, con ocurrencias infinitas y en la frecuencia se toma a lambda que son dos minutos para el carril de ida y para el carril de regreso, mostrando la posibilidad de factibilidad cuando se acumulan las colas.

El CARRO_1_IDA y el CARRO_2_IDA al entrar al peaje deben pasar por R1_IDA, y después por R2_IDA de igual forma el CARRO_3_VUELTA que pasa por R1_VUELTA para después ir por R2_VUELTA.

Diseño del Proceso

Figura 30

Proceso del nuevo sistema

Entidad...	Locación...	Operación...
CARRO_1_IDA	R1_IDA	Inc VEHICULOS_QUE_LLEGAN_1
CARRO_1_IDA	CAJA_1_IDA	WAIT N(4,0.8) MIN
CARRO_1_IDA	R2_IDA	
CARRO_2_IDA	R1_IDA	Inc VEHICULOS_QUE_LLEGAN_1
CARRO_2_IDA	CAJA_2_IDA	Wait N(4,0.8) min
CARRO_2_IDA	R2_IDA	
CARRO_3_VUELTA	R1_VUELTA	Inc VEHICULOS_QUE_LLEGAN_2
CARRO_3_VUELTA	CAJA_3_VUELTA	WAIT N(4,0.8) MIN
CARRO_3_VUELTA	R2_VUELTA	

Se consideró como proceso al primer vehículo de ida que ingresa a la primera ruta de ida del sistema pasando por el peaje y continuando por la ruta de ida hasta la salida, el mismo proceso se genera para el segundo vehículo de ida y a la par el proceso para los vehículos de vuelta que entran al sistema pasando por la primera ruta de vuelta pasando por el peaje hasta la segunda ruta de vuelta que llega a la salida, se modificó los tiempos de atención con la distribución normal y desviación estándar.

Para activar el proceso en la columna de lógica de movimiento escribimos que el atributo CICLO_1 que es para la primera caseta en la primera caja de ida es igual al reloj (CLOCK()), contabilizando hasta el carro que esta de ida sale a la ruta dos que permite contabilizar el tiempo de atención, continuando con el mismo proceso para el los 3 automóviles

Diseño de Atributos

Figura 31

Atributos del nuevo sistema

ID	Tipo	Clasificación
CICLO_1	Real	Loc
CICLO_2	Real	Loc
CICLO_3	Real	Loc

Para estos atributos denominados CICLO_1, CICLO_2 y CICLO_3, se consideró en la columna denominada tipo el nombre Real ya que para el atributo del tiempo de atención puede llevar decimales, también en la columna de clasificación se consideró Loc que hace referencia a la locación, esto ayuda a realizar el conteo del tiempo de atención

Diseño de Variables

Figura 32

Variables del nuevo sistema

Icono	ID	Tipo	Valor Inicial
S/	VEHICULOS_QUE_LLEGAN_1	Integer	0
S/	VEHICULOS_QUE_SALEN_1	Integer	0
S/	VEHICULOS_QUE_LLEGAN_2	Integer	0
S/	VEHICULOS_QUE_SALEN_2	Integer	0
S/	T_CICLO_1	Integer	0
S/	T_CICLO_2	Integer	0
S/	T_CICLO_3	Integer	0
S/	COLA_1	Integer	0
S/	COLA_2	Integer	0

Se consideró como variables de conteo dentro del modelo de simulación a los vehículos de ida que llegan por la primera ruta (VEHICULOS_QUE_LLEGAN_1) se considera vehículos que llegan 1 a los automóviles rojos o verdes que van, estos pasan por una misma ruta, con un tiempo de ciclo (T_CICLO_1) y los vehículos que salen (VEHICULOS_QUE_SALEN_1), teniendo en cuenta la cola que realizan (COLA_1), de igual forma para los vehículos que llegan al peaje (VEHICULOS_QUE_LLEGAN_2), tienen un tiempo de ciclo (T_CICLO_2) y después salen (VEHICULOS_QUE_SALEN_2), teniendo en cuenta la cola (COLA_2).

Los iconos son plasmados dentro de layout de la simulación.

Después de ingresar todos los datos a ProModel, se corrió la simulación en el lapso de 8 horas que es un turno de atención y se tuvo los siguientes datos de la situación nueva

3.3.2. Análisis de indicadores mejorados variable independiente

Dimensión Locaciones

Tabla 14

Porcentajes capacidad en las locaciones en la nueva situación

	% Operación	% Inactivo
CAJA 2 IDA	89.86	10.14
CAJA 3 VUELTA	99.64	0.36

Fuente: Elaboración propia

Para las dos cajas de ida y una de vuelta se observa que la mayor parte del tiempo se encuentra activa las cajas de ida con un 10.14%, en comparación a la caja de vuelta que tiene un 0.36% de inactividad. Lo que indica que el tiempo promedio ocioso es mínimo por parte de la caja de vuelta ya que solo trabaja una cajera en esa casera y su porcentaje de operación es de 99.64% siendo mayor que el de la caja de ida que tiene un 89.86% de operación.

Tabla 15

Porcentajes capacidad en las locaciones en la nueva situación

	% Vacío	% Parte Ocupada	% Lleno
CAJA 1 IDA	42.20	21.08	36.72
R1 IDA		100.00	
R2 IDA	10.61	89.39	
R1 VUELTA		100.00	
R2 VUELTA	23.56	76.44	

Fuente: Elaboración propia

Para los porcentajes de capacidad de las rutas, la primera ruta tanto de ida R1 IDA como de vuelta R1 VUELTA que se encuentran antes de llegar a caja se mantiene ocupada con un 100%, entonces para las rutas de regreso, la ruta de ida R2 IDA se encuentra con un 10.61% de vacío, manteniéndose ocupada con un 89.39% lo que significa que el paso de los vehículos por las dos cajas en la primera caseta funcionan considerablemente, también en la ruta de vuelta R2 VUELTA pasa lo mismo pero no de igual forma ya que se mantiene vacía con un 23.56% que es casi el doble en comparación de la segunda ruta de ida, también se observa la

primera caja de ida con un 21.08% de parte ocupada, teniendo un 42.20% vacía gracias a la segunda caja simulada en la primera caseta pero a su vez llena con un 36.72%.

Dimensión Entidades

Tabla 16

Porcentajes de utilización de entidades según los carros de ida en la nueva situación

	% Esperando	% En Operación	% Bloqueado
CARRO 1 IDA	92.53	6.70	0.77
CARRO 2 IDA	88.67	8.83	2.49
CARRO 3 VUELTA	88.68	8.42	2.90

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 12 muestra que los carros que van en la ruta de ida y vuelta se encuentran esperando lo que indica que genera colas, se muestra que el carro que más espera es el carro 1 de ida con un 92.53%, además se tiene un porcentaje mayor de operación por parte de los carros 2 de ida con un 8.83%, y el mayor bloqueo por parte del carro de vuelta.

3.3.3. Análisis de indicadores mejorados Variable dependiente

Dimension tiempo

Tabla 17

Porcentajes de utilización de entidades según los carros en la nueva situación

Nombre	Total Salidas	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)
CARRO 1 IDA	323.00	46.76	3.13
CARRO 2 IDA	366.00	38.78	3.43
CARRO 3 VUELTA	384.00	41.81	3.52

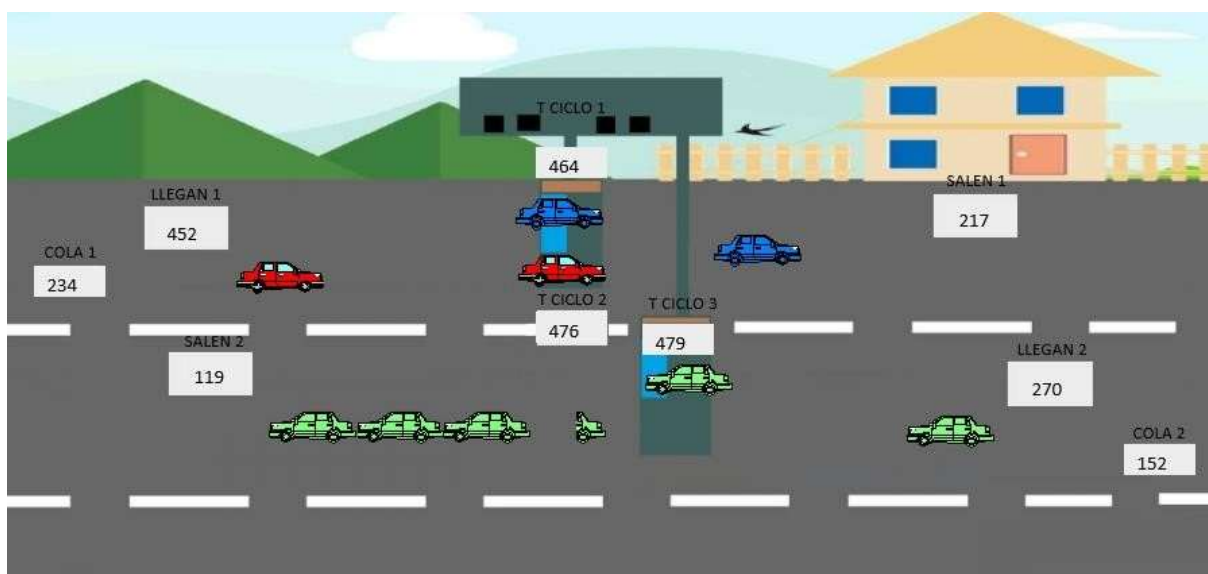
Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se observa el total de salidas para cada auto, teniendo 689 unidades de carros en ida que salieron del peaje en el lapso de 8 horas y 384 unidades de carros de vuelta,

también se calculó el tiempo en el sistema con mayores minutos por parte del carro 1 de ida con 46.76 minutos, además se tuvo un tiempo promedio de operación por parte de los carros de ida con un máximo de 3.43 minutos en comparación a los de vuelta con 3.52 minutos, estos tiempos disminuyeron bastante en comparación a los tiempos de la situación inicial.

Figura 33

Segundo escenario en Promodel



Según el Software Promodel se observa en el segundo escenario que se acumulan 234 automóviles provocando colas para la ruta de ida siendo estas acumulativas y 152 automóviles para la ruta de vuelta que en comparación del primer escenario en menor, llegan a la ruta de ida 452 automóviles y a la ruta de vuelta 270 automóviles, teniendo un tiempo de ciclo en cada caseta que son los 464 automóviles que pasan por la ruta de ida 1, 476 automóviles por la ruta de ida 2 y 479 automóviles por la ruta de vuelta, saliendo 217 automóviles para la ruta de ida y 119 automóviles para la ruta de vuelta.

Entonces se considera factible el segundo escenario ya que optimiza los tiempos y presenta mejoras considerables como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 18

Resumen de la propuesta en los dos escenarios

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	ANTES	DESPUÉS
VI: Sistema de simulación	Locaciones	% operación	99.65% caja 1	89.86% caja ida
			99.65 caja 2	99.64 caja vuelta
		% inactivo	0.35% caja 1	10.14% caja ida
			0.35% caja 2	0.36% caja vuelta
		% vacío	0.03% R1 ida	42.20% caja ida
			85.13% R2 ida	10.61% R2 ida
			84.06% R2 vuelta	23.56% R2 vuelta
		% ocupado	99.97% R1 ida	100% R1 ida
			14.88% R2 ida	89.39 R2 ida
			100% R1 vuelta	100% R1 vuelta
			15.94% R2 vuelta	76.44% R2 vuelta
	Entidades	% Utilización	99.65% caja 1 ida	41% caja 1ida
			99.65% caja 2 vuelta	95.73 caja 2 ida
				99.64% caja 3 vuelta
		% operación	7.05% carro ida	6.70% carro1 ida
			6.12% carro vuelta	8.83% carro2 ida
				8.42% carro vuelta
		% esperando	87.70% carro ida	92.53% carro 1 ida
			89.3% carro vuelta	88.67% carro 2 ida
		% bloqueado		88.68% carro vuelta
			5.26% carro ida	0.77% carro1 ida
	Arribos	Frecuencia de llegada	4.51% carro vuelta	2.49% carro2 ida
				2.90% carro vuelta
			2 min	2 min
VD: Tiempo de espera	Tiempos	Tiempo ocioso	0.14min caja ida	10.14% ida – 0.36%
			0.4min caja vuelta	vuelta de inactividad
		Tiempo en el sistema	207.7 min ida	46.76 min carro 1 ida
			– 228.64 min vuelta	38.78 min carro2 ida
				41.81 min carro vuelta

Tiempo operación	14.6 min ida	–	3.13 min carro 1 ida
	13.9 min vuelta		3.43 min carro2 ida
			3.52 min carro de vuelta

Fuente: Elaboracion propia

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

La presente investigación tuvo como objetivo principal el análisis de los tiempos de espera en el peaje Sullana – Piura, con el propósito de realizar una simulación que se utiliza como herramienta para poder construir una alternativa de solución basado en un sistema real.

Para (Hiram Ruiz Esparza González) la simulación es la construcción de un modelo sin tener que modificar la realidad ya que puede ser poco práctico experimentar en esa realidad sin causar costos antes de analizar la situación que se propone., como describe en su estudio al igual que García E., (2013). Demostrando el cambio que se puede tener al pasar por un peaje donde existe tiempo de espera, colas y al efectuar una simulación este tiempo puede mejorar. En diferentes investigaciones como en la de Centenaro Cueva, (2015) se usa como herramienta de simulación para las colas de espera el software ProModel ya que se considera como uno de los simuladores más prácticos, en comparación al estudio de Ailan, (2019) que utiliza el modelos de series de tiempo Arima para las colas de espera, lo que también es factible según su investigación ya que existen diversas formas de estudiar los tiempos de espera según la teoría de colas en un determinado sistema

Los indicadores de la situación actual muestran que el tiempo promedio de atención es de 3 minutos 4 segundos encontrándose al límite de la atención generando así tiempos de espera lo que provoca colas, para dar soluciones a esta problemática, mediante el uso de la simulación con ProModel se puede saber qué pasa si se altera el primer escenario de la situación actual, modificando así los tiempos de espera en el peaje, lo que permite mostrar una mejora significativa, semejante a Wilfredo, (2017) que logra disminuir el tiempo de espera que se requiere al pasar por un peaje.

Al realizar la simulación del sistema de peaje se observa algunas mejoras, pero no de forma absoluta, de la misma manera como Taha, (2012) acota que se no es una técnica de optimización, pero se puede tener en cuenta ciertas recomendaciones para reducir los tiempos de espera.

Una limitación encontrada al realizar la presente investigación fue al momento de tomar los datos ya que por la grave situación que atravesamos, se tuvo que considerar datos recolectados de lejos del peaje al inicio de la pandemia.

Finalmente, al usar la simulación como herramienta se logró observar que el congestionamiento vehicular en el peaje puede mejorar en la reducción de tiempos como muestra en sus resultados, según las locaciones, entidades, arribos y tiempos

4.2. Conclusiones

Después de realizar un análisis a la situación del peaje Sullana – Piura y proponer mejoras se pudo concluir lo siguiente:

- Se logró describir la información general de la empresa
- Se logró diseñar un sistema de simulación de peaje con el software ProModel y así analizar los tiempos en la autopista de Sullana – Piura según los indicadores para posteriormente proponer un nuevo escenario
- Se realizó un diagnóstico de la situación actual del peaje y así se logró proponer escenarios de mejora para dicha situación
- Se pudo realizar la simulación de la autopista de peaje en la estación Sullana- Piura con el software ProModel y se logró hacer corridas con los dos escenarios
- Se analizó los indicadores obtenidos en la situación actual del peaje y así se pudo realizar una simulación en ProModel con un nuevo escenario propuesto que disminuye el tiempo de espera en el peaje de la ciudad de Piura.

- Se recomienda que para otros estudios se tomen nuevos datos del tiempo de espera ya que estos fueron tomados en el año 2020 y con el pasar de los años incrementa el tráfico.

Referencias

- Ailan, J. (2019). *Estimacion de tiempos de espera en peajes*. Buenos Aires.
- Arias Galicia, F. (2007). *Metodología de la invetsigacion* . Mexico.
- Castro, S. (2008). Juegos, simulaciones y simulacion-juegos y los entornos multimediales en educacion ¿Mito o potencialidad? *Universidad Pedagogica Experimental Libertador* .
- Centenaro Cueva, A. (2015). "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SERVICIO DE COBRO EN EL PEAJE DE LA ESTACION CHILCA". Lima.
- Diaz Sanjuan, L. (2011). LA OBSERVACIÓN. *DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES COORDINACIÓN DE PSICOLOGÍA CLÍNICA*.
- Díaz, V. (2014). *Concepto de ciencia como sistema, el positivismo, neopositivismo y las investigaciones cuantitativas y cualitativas*. Barranquilla: Salud Uninorte.
- Escamilla, M. (2010). *Aplicacion basica de los metodos cienificos* . Universidad Autonoma del estado de Hidalgo.
- García , D. (1996). *Simulación y Análisis de modelos estocásticos*. Mexico: Mc. Graw Hill.
- García , E. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con promodel* . Mexico: Pearson.
- Garcia. (2015). *Teoría de colas*.
- García E., G. H. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel (2da edicion)* . Mexico: Pearson.
- García, E., García, H., & Cárdenas, L. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con promodel*.
- Granada Garcés, I. (2009). El Peaje a la congestión en Londres: su aporte a la movilidad sostenible.
- Guasch Toni, R. J. (2006). *Como mejorar la logistica en su empresa mediante la simulacion*. DIAZ DE SANTOS.
- Hiram Ruiz Esparza González, F. D. (s.f.). SIMULACIÓN: CONCEPTOS Y EVOLUCIÓN. En F. D. Hiram Ruiz Esparza González. Col. Villa Quietud, México D.F. C.P.
- Liniers, M. C. (2005). *EL ANÁLISIS DOCUMENTAL: INDIZACIÓN Y RESUMEN*.
- Martínez, M. (2004). *Teoría de colas*. Caracas.
- Moreira, J. S., León, C. C., Zambrano, G. R., & Joel, C. M. (2018). Parameters influencing in the vehicular overcrowding.
- OSITRAN. (2012). *Informe de Desempeño de la Concesión de la Autopista del Sol*.
- OSITRAN. (2012). *Informe de desempeño de la Concesión de la Autopista del Sol, Tramo TrujilloSullana*.
- OSITRAN. (2018). *Informe de Desempeño de la Concesión de la Autopista del Sol* .
- Portilla, L. M., Arias Montoya, L., & Fernandez Henao, S. A. (2010). Analisis de lineas de espera a traves de teoria de colas y simulacion. *Scientia Et Technica, vol XVII*.
- Roberto Bull, I. T. (2001). La congestion del transito urbano. *Revista de la CEPAL*.
- Rodríguez, D. E. (2012). *Muestra y Muestreo*.
- RUIZ, E. B., & TACURE, E. T. (2015). *La congestion vehicular en la ciudad de Piura* . Piura.
- Sabater, J. P. (2015-2016). *Aplicando Teoría de Colas en*.
- Sampieri, R. H. (2016). *Metodología de la investigación (Vol. 6)*. México, DF.
- Taha, H. A. (2012). *Investigacion de operaciones* . Mexico: Pearson Educacion.
- Vasquez H., I. (s.f.). *Tipos de estudio y metodos de investigacion*.
- Wilfredo, Z. B. (2017). "Análisis De Factibilidad Para El Mejoramiento Del Congestionamiento Vehicular En Los Peajes Por Medio De Identificación Por Radio Frecuencia". Guayaquil.

ANEXOS

Anexo 1 Validación de instrumento de recolección de datos

ITEMS		Citas Bibliográficas	Coherente				Claridad				Sugerencias
	Ponderación		0	1	2	3	0	1	2	3	
N°	Ítems	Mathur K., Solow D. (1996) Hillier F. S., Lieberman G. J. (2010)									
1	¿La atención influye en el tiempo de espera?					/				/	
2	¿Le genera inconvenientes la espera?					/				/	
3	¿ Cuánto es el tiempo que dura un automóvil en la autopista de peaje?				/				/		
4	¿Cuál es la interllegada de los automóviles?					/				/	
5	¿Cuál es el porcentaje de entrada y salida de los automóviles al pasar el peaje?				/				/		
6	¿Al realizar un viaje es importante calcular el tiempo para pasar por un peaje?				/				/		
7	¿Considera que los colaboradores en los peajes están correctamente capacitados para su función?					/				/	
8	¿Cuánto demoran en atenderlo en un peaje?					/				/	
9	¿Cuál es el tiempo promedio de un automóvil en la cola de espera?					/				/	
10	¿Sabe cuánto debe demorar en un peaje?				/				/		

Las alternativas de respuesta van de 0 a 3 y tienen la siguiente expresión	
Muy en desacuerdo	0
Desacuerdo	1
De acuerdo	2
Muy de acuerdo	3

Fuente: Adaptado de Guilliana Yhuleisy Ramos Alarcón

Anexo 2 Datos según la observación realizada

DATO	HORA DE ARRIBO	CANTIDAD DE UNIDADES MOVILES	INTERLEGADA	TIEMPO DE ATENCION
1	10:00	1	1	2
2	10:01	1	1	1
3	10:02	1	1	3
4	10:03	2	1	2
5	10:04	1	1	5
6	10:05	1	1	4
7	10:06	3	1	1
8	10:07	1	1	1
9	10:08	1	1	2
10	10:09	3	1	1
11	10:10	1	1	3
12	10:11	2	1	1
13	10:12	1	1	3
14	10:13	1	1	1
15	10:14	2	1	5
16	10:15	1	1	1
17	10:16	2	1	4
18	10:17	1	1	6
19	10:18	1	1	3
20	10:19	3	1	3
21	10:20	2	1	5
22	10:21	4	1	6
23	10:22	1	1	2
24	10:23	1	1	2
25	10:24	1	1	5
29	10:28	3	4	5
30	10:29	1	1	6
31	10:30	1	1	5

32	10:31	4	1	4
33	10:32	1	1	4
34	10:33	5	1	11
35	10:34	1	1	3
36	10:35	2	1	5
37	10:36	1	1	2
38	10:37	3	1	6
39	10:38	1	1	5
40	10:39	5	1	8

43	10:42	1	3	5
44	10:43	2	1	4
45	10:44	1	1	3
46	10:45	1	1	2
47	10:46	1	1	6
48	10:47	2	1	2
49	10:48	2	1	1
50	10:49	1	1	2
51	10:50	5	1	10
52	10:51	3	1	2
53	10:52	1	1	3
54	10:53	1	1	1
55	10:54	1	1	2
56	10:55	4	1	5
57	10:56	1	1	1
58	10:57	1	1	2
59	10:58	2	1	2
60	10:59	3	1	4
61	11:00	1	1	1
62	11:01	6	1	13
63	11:02	1	1	1
64	11:03	2	1	1
65	11:04	3	1	4
66	11:05	1	1	2

67	11:06	1	1	1
68	11:07	2	1	3
69	11:08	1	1	2
70	11:09	1	1	1
71	11:10	2	1	4
72	11:11	3	1	3
73	11:12	3	1	4
74	11:13	3	1	5
75	11:14	1	1	2
76	11:15	2	1	2
77	11:16	2	1	1
78	11:17	2	1	1
79	11:18	3	1	3
80	11:19	2	1	4
81	11:20	1	1	3
82	11:21	1	1	1
83	11:22	2	1	2
84	11:23	2	1	3
85	11:24	1	1	2

86	11:25	2	1	3
87	11:26	3	1	7
88	11:27	1	1	2
89	11:28	3	1	1
90	11:29	3	1	11
91	11:30	5	1	7
92	11:31	1	1	1
93	11:32	1	1	1
94	11:33	6	1	12
95	11:34	3	1	6
96	11:35	1	1	1
97	11:36	4	1	6
98	11:37	7	1	5
99	11:38	2	1	5
100	11:39	1	1	1

101	11:40	3	1	7
102	11:41	4	1	9
103	11:42	1	1	1
104	11:43	4	1	9
105	11:44	3	1	3
106	11:45	2	1	5
107	11:46	1	1	1
108	11:47	2	1	5
109	11:48	3	1	7
110	11:49	2	1	4
111	11:50	1	1	1
112	11:51	2	1	3
113	11:52	2	1	2
114	11:53	3	1	2
115	11:54	1	1	1
116	11:55	1	1	1
117	11:56	3	1	5
118	11:57	2	1	3
119	11:58	2	1	2
120	11:59	2	1	5
121	12:00	1	1	1
122	12:01	2	1	3
123	12:02	1	1	2
124	12:03	2	1	1
125	12:04	1	1	1
126	12:05	4	1	7
127	12:06	2	1	3
128	12:07	3	1	5

129	12:08	4	1	8
130	12:09	5	1	12
131	12:10	2	1	5
132	12:11	1	1	2
133	12:12	2	1	6
134	12:13	3	1	4

135	12:14	3	1	3
136	12:15	2	1	1
137	12:16	3	1	3
138	12:17	4	1	4
139	12:18	3	1	5
140	12:19	5	1	7
141	12:20	4	1	7
142	12:21	3	1	5
143	12:22	1	1	6
144	12:23	6	1	13
145	12:24	2	1	4
148	12:27	2	3	5
149	12:28	4	1	6
150	12:29	1	1	2
151	12:30	1	1	1
152	12:31	1	1	2
153	12:32	1	1	1
154	12:33	1	1	1
155	12:34	1	1	1
156	12:35	2	1	4
157	12:36	1	1	2
158	12:37	3	1	5
159	12:38	3	1	4
160	12:39	4	1	6
161	12:40	1	1	2
162	12:41	1	1	1
163	12:42	2	1	2
164	12:43	1	1	1
165	12:44	3	1	5
166	12:45	1	1	1
167	12:46	2	1	2
168	12:47	3	1	7
169	12:48	4	1	8
170	12:49	5	1	11

171	12:50	2	1	4
172	12:51	1	1	2
173	12:52	1	1	1

174	12:53	1	1	1
175	12:54	1	1	1
176	12:55	3	1	2
177	12:56	4	1	4
179	12:58	1	2	2
181	13:00	1	2	1
182	13:01	3	1	2
183	13:02	5	1	6
185	13:04	2	2	2
186	13:05	1	1	1
188	13:07	1	2	2
189	13:08	2	1	2
190	13:09	1	1	1
191	13:10	2	1	3
192	13:11	1	1	1
194	13:13	1	2	2
195	13:14	1	1	2
196	13:15	1	1	1
199	13:18	2	3	4
200	13:19	3	1	6
201	13:20	3	1	4
202	13:21	4	1	9
204	13:23	1	2	1
205	13:24	2	1	3
206	13:25	1	1	2
207	13:26	4	1	5
208	13:27	2	1	4
209	13:28	1	1	1
211	13:30	5	2	4
216	13:35	4	5	6
217	13:36	2	1	2

218	13:37	3	1	4
219	13:38	4	1	5
220	13:39	5	1	6
221	13:40	3	1	3
222	13:41	2	1	2
223	13:42	3	1	6
224	13:43	3	1	5
225	13:44	4	1	4
226	13:45	1	1	1
227	13:46	2	1	2
228	13:47	1	1	1
229	13:48	1	1	1

230	13:49	1	1	1
231	13:50	1	1	2
232	13:51	1	1	2
233	13:52	2	1	1
234	13:53	1	1	1
235	13:54	2	1	4
236	13:55	4	1	6
237	13:56	2	1	2
238	13:57	1	1	2
243	14:02	2	5	1
244	14:03	1	1	2
245	14:04	1	1	1
246	14:05	5	1	5
247	14:06	6	1	6
248	14:07	2	1	4
249	14:08	1	1	2
250	14:09	1	1	1
251	14:10	1	1	1
252	14:11	1	1	1
253	14:12	1	1	2
263	14:22	1	10	1
264	14:23	2	1	3

265	14:24	2	1	2
266	14:25	3	1	2
267	14:26	2	1	1
269	14:28	4	2	5
274	14:33	1	5	2
275	14:34	2	1	2
276	14:35	2	1	2
277	14:36	1	1	1
278	14:37	1	1	1
279	14:38	1	1	2
280	14:39	3	1	6
281	14:40	1	1	1
282	14:41	1	1	1
283	14:42	1	1	1
284	14:43	2	1	4
285	14:44	1	1	1
290	14:49	3	5	5
291	14:50	1	1	1
292	14:51	2	1	1
293	14:52	1	1	2
294	14:53	2	1	1

295	14:54	1	1	1
297	14:56	1	2	1
299	14:58	2	2	1
302	15:01	1	3	1
303	15:02	5	1	5
304	15:03	4	1	5
305	15:04	1	1	1
307	15:06	1	2	1
311	15:10	4	4	4
312	15:11	1	1	1
313	15:12	2	1	3
314	15:13	1	1	2
315	15:14	1	1	1

316	15:15	2	1	2
317	15:16	1	1	1
318	15:17	1	1	1
319	15:18	2	1	2
320	15:19	1	1	1
321	15:20	1	1	1
323	15:22	3	2	5
325	15:24	2	2	2
333	15:32	1	8	1
334	15:33	6	1	5
335	15:34	1	1	2
336	15:35	4	1	4
337	15:36	1	1	2
338	15:37	5	1	6
339	15:38	1	1	2
340	15:39	2	1	4
341	15:40	3	1	6
342	15:41	1	1	2
343	15:42	2	1	2
344	15:43	3	1	3
345	15:44	4	1	4
346	15:45	1	1	1
347	15:46	1	1	2
348	15:47	1	1	2
349	15:48	3	1	4
350	15:49	2	1	1
351	15:50	1	1	1
352	15:51	1	1	1
353	15:52	3	1	3
354	15:53	1	1	2
355	15:54	1	1	1
356	15:55	1	1	2
357	15:56	2	1	1
358	15:57	3	1	3

359	15:58	2	1	1
360	15:59	1	1	1
361	16:00	3	1	5
362	16:01	3	1	4
363	16:02	2	1	4
364	16:03	2	1	4
365	16:04	2	1	4
366	16:05	1	1	1
367	16:06	2	1	1
368	16:07	1	1	2
369	16:08	1	1	1
370	16:09	1	1	1
373	16:12	1	3	1
374	16:13	1	1	1
375	16:14	4	1	4
376	16:15	1	1	1
377	16:16	5	1	4
378	16:17	1	1	1
379	16:18	3	1	3
380	16:19	1	1	2
381	16:20	1	1	1
382	16:21	2	1	3
383	16:22	1	1	1
384	16:23	3	1	2
385	16:24	1	1	2
386	16:25	3	1	3
387	16:26	2	1	5
388	16:27	3	1	6
389	16:28	1	1	1
391	16:30	1	2	2
392	16:31	1	1	1
393	16:32	2	1	3
394	16:33	2	1	3
395	16:34	2	1	2

396	16:35	2	1	1
397	16:36	2	1	2
398	16:37	2	1	3
399	16:38	2	1	3
400	16:39	4	1	5
401	16:40	2	1	2
402	16:41	2	1	3
403	16:42	4	1	5
404	16:43	1	1	1
405	16:44	1	1	1
406	16:45	1	1	1
407	16:46	1	1	2
408	16:47	5	1	4
409	16:48	2	1	3
410	16:49	1	1	1
411	16:50	1	1	2
412	16:51	2	1	1
413	16:52	3	1	5
414	16:53	4	1	5
415	16:54	2	1	4
416	16:55	1	1	1
417	16:56	1	1	1
418	16:57	2	1	3
419	16:58	1	1	2
420	16:59	3	1	5
421	17:00	1	1	1

Anexo 3 Datos según Rutas

	RUTA	FRECUE NCIA	PROBABILIDAD	FRE. ACU	RMIN	RMAX	RUTA
PIURA- SULLANA	IDA	283	0.67	0.67	0	0.67	IDA
SULLANA - PIURA	VUEL TA	138	0.33	1.00	0.67	1.00	VUEL TA

Título de la tesis

Anexo 4 Los 50 primeros datos de la simulación corrida en Excel con datos de observación

HORIZONTE	r	ruta	RELOJ	R	INTERLLEGADA	ALEATORIO	Z	T ATENCIÓN	DONDE VA
1	0.864039413	VUELTA	-	0.92	0.04	0.8544591	1.055751428	3.88	
2	0.383649794	IDA	0.04	0.10	1.16	0.95490926	1.69444115	4.39	
3	0.800397047	VUELTA	1.20	0.99	0.00	0.17548311	-0.932716789	2.29	C2
4	0.005333247	IDA	1.20	0.23	0.73	0.81945744	0.913299351	3.77	C1
5	0.827104631	VUELTA	1.93	0.62	0.24	0.38177652	-0.300818328	2.80	C2
6	0.686722156	VUELTA	2.17	0.73	0.16	0.69860189	0.520383619	3.46	C2
7	0.060712232	IDA	2.33	0.27	0.65	0.26277662	-0.634808611	2.53	C1
8	0.536486631	IDA	2.98	0.22	0.75	0.63822561	0.353719944	3.32	C1
9	0.344406589	IDA	3.73	0.61	0.25	0.68497632	0.481660205	3.42	C1
10	0.770918971	VUELTA	3.98	0.35	0.52	0.16246188	-0.984390058	2.25	C2 11
	0.850969304	VUELTA	4.50	0.66	0.21	0.68942719	0.494227361	3.43	C2
12	0.569394138	IDA	4.71	0.83	0.09	0.08048199	-1.401836826	1.92	C1
13	0.638347684	IDA	4.80	0.02	1.97	0.43038635	-0.175390644	2.90	C1
14	0.055502511	IDA	6.77	0.99	0.00	0.78358568	0.784360454	3.67	C1
15	0.673460593	VUELTA	6.77	0.04	1.58	0.79555384	0.825844482	3.70	C2
16	0.177224372	IDA	8.35	0.48	0.37	0.41677835	-0.210142182	2.87	C1
17	0.706169569	VUELTA	8.72	0.57	0.28	0.44188362	-0.146195269	2.92	C2
18	0.115720601	IDA	9.00	0.10	1.14	0.75521606	0.690996286	3.59	C1 19
	0.636076177	IDA	10.14	0.63	0.23	0.91222641	1.354593249	4.12	C1
20	0.016916949	IDA	10.37	0.83	0.09	0.17184626	-0.946894555	2.28	C1
21	0.382084338	IDA	10.46	0.80	0.11	0.13195071	-1.117217324	2.15	C1
22	0.029844927	IDA	10.57	0.80	0.11	0.06486669	-1.51515413	1.83	C1
23	0.617441703	IDA	10.68	0.29	0.62	0.74662991	0.663922083	3.57	C1
24	0.411208875	IDA	11.30	0.70	0.18	0.71592835	0.570788084	3.50	C1

25	0.619367017	IDA	11.48	0.94	0.03	0.48835193	-0.029201542	
3.02	C1							
26	0.698000276	VUELTA	11.51	0.61	0.25	0.22613225	-0.751645107	2.44 C2
27	0.520616133	IDA	11.76	0.02	1.95	0.3817663	-0.300845117	2.80 C1
28	0.893070311	VUELTA	13.71	0.52	0.33	0.79025027	0.807289947	3.68 C2
29	0.984873457	VUELTA	14.04	0.75	0.14	0.41374908	-0.217911372	2.86 C2
30	0.593623757	IDA	14.18	0.11	1.08	0.84988209	1.035927808	3.87 C1
31	0.921437761	VUELTA	15.26	0.66	0.21	0.8056587	0.862008938	3.73 C2 32
	0.140463316	IDA	15.47	0.85	0.08	0.59802177	0.248230004	3.24 C1
33	0.86893466	VUELTA	15.55	1.00	0.00	0.1359307	-1.098786041	2.16 C2
34	0.269929658	IDA	15.55	0.81	0.11	0.56581131	0.165719906	3.17 C1
35	0.751407508	VUELTA	15.66	0.84	0.09	0.35882607	-0.361598416	2.75 C2
36	0.77589479	VUELTA	15.74	0.75	0.15	0.55195863	0.130611375	3.14 C2
37	0.715593553	VUELTA	15.89	0.23	0.75	0.97861225	2.025895525	4.66 C2
38	0.909836968	VUELTA	16.63	0.04	1.64	0.58275648	0.208950301	3.21 C2
39	0.374427046	IDA	18.27	0.72	0.16	0.80664183	0.865587618	3.73 C1
40	0.161734389	IDA	18.44	0.39	0.48	0.88775011	1.214649557	4.01 C1
41	0.894809909	VUELTA	18.91	0.70	0.18	0.54915598	0.123529227	3.14 C2
42	0.500641191	IDA	19.10	0.17	0.89	0.54193947	0.105321044	3.12 C1
43	0.317110822	IDA	19.99	0.71	0.17	0.76622801	0.726480946	3.62 C1
44	0.327278571	IDA	20.16	0.96	0.02	0.49394936	-0.015167286	3.03 C1
45	0.840457775	VUELTA	20.18	0.94	0.03	0.08994765	-1.341077458	1.97 C2
46	0.040096488	IDA	20.21	0.74	0.15	0.83905172	0.990568028	3.83 C1
47	0.253276306	IDA	20.36	0.80	0.11	0.90682716	1.32146708	4.10 C1 48
	0.662442395	IDA	20.48	0.79	0.12	0.71506149	0.568232614	3.49 C1
49	0.788061309	VUELTA	20.59	0.21	0.78	0.45641831	-0.109461301	2.95 C2 50
	0.542968123	IDA	21.37	0.97	0.01	0.50680971	0.017070231	3.05 C1

Anexo 5 Continuación de la simulación para ambas cajas

CAJERA IDA =C1					CAJERA VUELTA =C2				
INICIO	TÉRMINO	T ESPERA	T OCIOSO	COLA	INICIO	TÉRMINO	T ESPERA	T OCIOSO	COLA
-	3.88								
	3.88				0.04	4.44			
	3.88				4.44	6.73	3.24	-	1
3.88	7.65	2.68	-	1		6.73			
	7.65				6.73	9.53	4.79	-	1
	7.65				9.53	12.98	7.35	-	2
7.65	10.18	5.32	-	1		12.98			
10.18	13.51	7.20	-	2		12.98			
13.51	16.93	9.77	-	2		12.98			
	16.93				12.98	15.23	9.00	-	1
	16.93				15.23	18.67	10.73	-	2
16.93	18.85	12.22	-	1		18.67			18.85
21.75	14.05	-	2		18.67				
21.75	25.41	14.98	-	2		18.67			
	25.41				18.67	22.37	11.90	-	1
25.41	28.28	17.06	-	1		22.37			
	28.28				22.37	25.29	13.65	-	1
28.28	31.88	19.29	-	1		25.29			31.88
36.00	21.74	-	2		25.29		36.00	38.28	
25.63	-	2	25.29		38.28	40.43	27.82		-
2		25.29		40.43	42.25	29.86	-	2	

		25.29		42.25	45.82	31.57	-	2
	25.29							
45.82	49.32	34.52	- 2		25.29			
49.32	52.33	37.84	- 2		25.29			
	52.33			25.29	27.73	13.78	-	1
52.33	55.13	40.57	- 1		27.73			
	55.13			27.73	31.41	14.02	-	1
	55.13			31.41	34.28	17.38	-	2
55.13	59.00	40.95	- 1		34.28			
	59.00			34.28	38.01	19.01	-	1
59.00	62.24	43.53	- 1		38.01			
	62.24			38.01	40.17	22.46	-	1
62.24	65.41	46.68	- 1		40.17			
	65.41			40.17	42.92	24.51	-	1
	65.41			42.92	46.06	27.17	-	2
	65.41			46.06	50.72	30.17	-	2
	65.41			50.72	53.92	34.08	-	2
65.41	69.14	47.13	- 1		53.92			
69.14	73.15	50.70	- 2		53.92			
	73.15			53.92	57.06	35.01	-	1
73.15	76.27	54.06	- 1		57.06			
76.27	79.89	56.29	- 2		57.06			
79.89	82.92	59.74	- 2		57.06			
	82.92			57.06	59.03	36.89	-	1
82.92	86.75	62.71	- 1		59.03			
86.75	90.85	66.39	- 2		59.03			
90.85	94.34	70.37	- 2		59.03			
	94.34			59.03	61.98	38.44	-	1
94.34	97.40	72.97	- 1		61.98			

Anexo 6 Resumen de la simulación corrida para ambas cajas

CAJERA IDA				CAJERA VUELTA			
Simulación	T. Espera	T. Ocioso	Cola	Simulación	T. Espera	T. Ocioso	Cola
1	2149.35 0	1.64	1	867.81 2	1.37		
2	2169.58 1	1.62	2	972.36 0	1.35		
3	2169.86 0	1.65	3	870.85 0	1.34		
4	2200.42 1	1.63	4	882.62 0	1.34		
5	2167.99 0	1.65	5	797.84 0	1.38		
6	2147.90 0	1.63	6	981.58 0	1.38		
7	2229.01 0	1.65	7	954.44 0	1.36		
8	2117.58 0	1.65	8	817.69 0	1.34		
9	2196.37 1	1.64	9	839.44 0	1.35		
10	2149.29 0	1.66	10	891.05 0	1.37		
11	2157.59 0	1.65	11	912.74 0	1.34		
12	2172.74 0	1.66	12	881.52 1	1.37		
13	2187.80 1	1.62	13	882.80 0	1.35		
14	2179.25 0	1.65	14	887.13 0	1.37		
15	2130.22 0	1.64	15	792.71 0	1.33		
16	2127.89 0	1.63	16	952.02 1	1.36		
17	2234.32 0	1.64	17	861.07 1	1.38		
18	2169.35 0	1.65	18	870.40 1	1.34		
19	2188.92 0	1.63	19	875.03 0	1.35		
20	2109.56 0	1.63	20	898.42 1	1.37		
21	2144.62 1	1.63	21	871.250265	1	1.38	
22	2186.88 0	1.64	22	956.39 0	1.35		
23	2183.80 0	1.64	23	907.91 0	1.36		
24	2095.94 1	1.64	24	897.80 1	1.35		
25	2161.53 0	1.63	25	943.12 0	1.35		

	26	2162.08	0	1.64	26	858.10	0	1.39	27	2162.48	0	1.63			
	27	926.709512	1	1.35											
28	2146.52	0	1.64	28	863.76	1	1.37								
29	2149.40	0	1.65	29	929.86	0	1.35								
30	2275.98	0	1.65	30	851.04	0	1.34								
31	2212.60	0	1.64	31	842.690243	1	1.37								
32	2148.17	0	1.66	32	799.739897	0	1.36								
33	2139.74	0	1.66	33	877.50	1	1.37								
34	2183.23	0	1.63	34	869.99	1	1.36								
35	2180.78	0	1.63	35	909.40	0	1.36								
36	2204.56	0	1.64	36	817.64	2	1.36								
37	2120.36	0	1.65	37	849.30	0	1.34								
38	2173.82	0	1.63	38	828.4504	2	1.37								
39	2218.81	0	1.64	39	914.35	0	1.37								
40	2229.24	1	1.65	40	944.15	0	1.36								
41	2189.26	0	1.62	41	834.850068	0	1.34								
42	2170.17	0	1.64	42	872.45	0	1.36								
43	2166.70	0	1.66	43	768.94	0	1.35								
44	2146.81	0	1.63	44	880.31	0	1.35								
45	2234.38	0	1.66	45	877.450128	1	1.37								
46	2179.22	0	1.65	46	817.120488	0	1.35								
47	2049.65	0	1.67	47	850.69982	0	1.36	48	2158.23	0	1.65	48	841.57	0	1.37
49	2239.42	0	1.64	49	947.68	1	1.34								
50	2091.62	0	1.63	50	964.61	0	1.36								
Promedio	2169.22		0.14	1.64				Promedio	880.09		0.40	1.36			

CAJERA IDA

T. Espera	T. Ocioso	Cola
2169.22	0.14	1.64

CAJERA VUELTA

T. Espera	T. Ocioso	Cola
880.09	0.4	1.3